

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



**REDISEÑO ELECTROMECÁNICO DE UN MOLINO DE
MARTILLOS UTILIZANDO DOBLE EJE Y SISTEMA DE
CONTROL AUTOMÁTICO PARA AUMENTAR LA EFICIENCIA
EN LA TRITURACIÓN DE MAÍZ DE LA EMPRESA MOLINO'S
SAN ANTONIO DE PADUA S.A.C**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

AUTOR

JIM DEYVI DELGADO DELGADO

ASESOR

LUCIO ANTONIO LLONTOP MENDOZA

<https://orcid.org/0000-0002-2561-0126>

Chiclayo, 2019

**REDISEÑO ELECTROMECÁNICO DE UN MOLINO DE
MARTILLOS UTILIZANDO DOBLE EJE Y SISTEMA DE
CONTROL AUTOMÁTICO PARA AUMENTAR LA
EFICIENCIA EN LA TRITURACIÓN DE MAÍZ DE LA
EMPRESA MOLINO'S SAN ANTONIO DE PADUA S.A.C**

PRESENTADA POR:

JIM DEYVI DELGADO DELGADO

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO MÉCANICO ELÉCTRICO

APROBADO POR:

Luis Alberto Gonzales Bazán

PRESIDENTE

Iván Dante Sipión Muñoz
SECRETARIO

Lucio Antonio Llontop Mendoza
ASESOR

DEDICATORIA

A Dios por brindarme esta oportunidad de lograr mis metas y a mis Padres Alejandro Delgado Uriarte y Clariza Delgado Jumba, por estar siempre a mi lado, apoyarme y motivarme para ser un mejor profesional. A una persona muy especial que me enseña día a día a ser mejor e ir por mis sueños (K.S). Y a todas las personas que me apoyaron y estuvieron siempre en mi formación profesional.

AGRADECIMIENTO

Dejo constancia de mi más profundo y cordial agradecimiento a mi asesor Lucio Antonio Llontop Mendoza, por haberme guiado y brindado sus conocimientos e ideas para la realización de este proyecto.

RESUMEN

Debido a la baja producción que existe en la mayoría de las industrias molineras en el Perú, por problemas tecnológicos o altos costos de maquinaria. Estas industrias se han visto en la necesidad de volverse competitivos, cambiando sus modelos de producción e invirtiendo en tecnologías más sofisticadas y eficientes.

La empresa procesadora de maíz amarillo duro “Molino’s San Antonio de Padua S.A.C”, presenta problemas similares mencionados anteriormente, por el cual requiere de un estudio muy profundo en el proceso de trituración y molienda, es decir, en el molino de martillos, ya que allí se da toda la producción de maíz amarillo duro.

Este proyecto rediseñara un molino de martillos utilizando doble eje para aumentar su eficiencia, y así, la empresa pueda crecer competitivamente, lo cual también se implementara un sistema de control automático en el proceso de la máquina.

Palabras clave: molino de martillos, producción, rediseño, sistema de control automático, eficiencia

ABSTRACT

Due to the low production that exists in most milling industries in Peru, by technological problems or high costs of machinery. These industries have seen the need to become competitive, changing their patterns of production and investing in more sophisticated and efficient technologies.

The processing company yellow maize “Molino’s San Antonio de Padua SAC” presents similar problems mentioned above, which requires a very thorough study in the process of crushing and grinding, the hammermill, since there all yellow maize production is given.

This project redesign a hammermill usin dual shaft to increase maize production, and so the company can grow competitively and become more efficient, which automatic control system is also implemented in the process of the machine.

Keywords: hammermill, production, redesign, automatic control system, efficiency.

ÍNDICE

DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO.....	4
RESUMEN	5
ABSTRACT.....	6
I. INTRODUCCIÓN.....	14
SITUACIÓN PROBLEMÁTICA	15
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	15
OBJETIVO GENERAL	15
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
JUSTIFICACIÓN	16
HIPÓTESIS.....	17
II. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE.....	18
2.1. Antecedentes	18
2.2. Materia prima para la producción.....	19
2.2.1. Maíz amarillo duro (MAD)	19
2.2.2. Características productivas del MAD	20
2.2.3. Producción.....	20
2.2.4. Comercialización del MAD	22
2.3. Molinos	23
2.4. Reducción de tamaño de sólidos.....	27
2.4.1. Tipos de molienda	29
2.4.2. Indicador OEE.....	30
2.5. Molino de martillos	32
2.5.1. Definición.....	32
2.5.2. Partes del molino de martillos	33
2.5.3. Cámara de trituración o desintegración	33
2.5.4. Ventajas y desventajas.....	36
2.5.5. Principio de funcionamiento.....	37
2.6. Sistema de transmisión de potencia	38

2.6.1.	Sistema de transmisión por poleas con correa	38
2.6.2.	Sistema de transmisión por engranajes	40
2.7.	Tornillo sin fin.....	41
2.8.	Sistema de control automático.....	45
2.8.1.	Control automático	45
2.8.2.	Sistema de control	45
2.8.3.	Elementos de control	46
2.8.4.	Automatización	46
2.8.5.	Dispositivos de control	46
2.8.6.	Equipos para el sistema de control del proceso automático	48
III. REDISEÑO DEL MOLINO DE MARTILLOS DE LA EMPRESA MOLINO ´S SAN ANTONIO DE PADUA S.A.C		50
3.1.	Metodología	50
3.2.	Situación actual del molino de martillos.....	51
3.3.	Descripción del proceso de maíz en la empresa “Molino ´s San Antonio de Padua S.A.C”.....	51
3.4.	Molino de martillos actual.....	52
3.4.1.	Características del molino de martillos	54
3.4.2.	Eficiencia.....	55
3.4.3.	Indicador OEE.....	56
3.5.	Parámetros para el rediseño del molino de martillos	57
3.5.1.	Características de operación del molino	57
3.5.2.	Velocidad de rotación del molino	58
3.5.3.	Geometría de martillos y discos.....	59
3.5.4.	Dimensionamiento del armazón del molino de martillos.....	59
3.5.5.	Tipo de material de los elementos	60
3.5.6.	Sistemas de transmisión de potencia.....	61
3.6.	Selección del nuevo diseño de molino de martillos	63
3.6.1.	Selección de sistema de transmisión de potencia y elementos de máquina.....	63
3.6.2.	Selección de armazón para el molino de martillos.....	74
3.6.3.	Selección de motor eléctrico	75

IV. Resultados y cálculos justificativos	76
4.1. Análisis del diseño de los parámetros del molino de martillos actual	76
4.1.1. Análisis del sistema de transmisión flexible (banda-polea)	76
4.1.2. Análisis de los martillos	77
4.1.2.1. Velocidades tangenciales del martillo.....	77
4.1.2.2. Análisis de fuerzas presentes en el martillo	81
4.1.2.3. Falla por rotura o cizalladura	82
4.1.2.4. Falla por tracción	83
4.1.3. Diseño del eje secundario porta martillos	84
4.1.4. Determinación de pesos para el análisis del eje principal	87
4.1.4.1. Análisis de fuerzas presentes en el eje principal	89
4.1.4.2. Análisis de fatiga del eje principal.....	90
4.1.4.3. Rodamientos en el eje principal.....	94
4.1.4.4. Indicador OEE y capacidad del molino de martillos	95
4.2. Diseño de los nuevos parámetros para la el molino de martillos	97
4.2.1. Diseño del sistema de transmisión.....	97
4.2.2. Diseño de martillos.....	104
4.2.3. Diseño del disco porta martillos	108
4.2.4. Diseño del eje secundario	108
4.2.5. Análisis de fuerzas presentes en los ejes.....	110
4.2.6. Análisis de fatiga del eje principal.....	113
4.2.7. Diseño del armazón del molino	115
4.2.8. Diseño de transportador sin fin	116
4.2.9. Indicador OEE y Capacidad mecánico	119
V. Simulación (Análisis Estático Estructural)	122
5.1. Martillos	122
5.2. Discos.....	123
5.3. Eje principal	124
VI. SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO.....	125
6.1. Características eléctricas del molino.....	125

6.2.	Selección de dispositivos de control	127
6.2.1.	Sensor de velocidad	127
6.2.2.	Variador de velocidad	128
6.2.3.	Sensor de nivel	129
6.3.	Selección del PLC	130
VII.	CONCLUSIONES.....	133
VIII.	RECOMENDACIONES	134
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	135
	ANEXOS	137

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Producción y Superficie Cosechada Nacional	22
Tabla 2: Tipos de molinos de acuerdo al tamaño del producto final	28
Tabla 3: Tamaños de molienda	29
Tabla 4: Clasificación OEE.....	31
Tabla 5: velocidad tangencial.....	36
Tabla 6: Ventajas y Desventajas de un molino de martillos	36
Tabla 7: Características del molino de martillos actual	55
Tabla 8: Velocidad de la molienda en trituradoras de martillos	58
Tabla 9: matriz morfológica de armazón.....	60
Tabla 10: Variedad de acero según norma AISI-SAE	61
Tabla 11: Criterios de evaluación.....	62
Tabla 12: Ponderaciones	62
Tabla 13: Características para el diseño con transmisión de engranajes	64
Tabla 14: Matriz morfológica de los elementos del molino de martillos	66
Tabla 15: Matriz morfológica de materiales.....	68
Tabla 16: Matriz morfológica del diseño con transmisión de engranajes	70
Tabla 17: Matriz morfológica del diseño transmisión flexible	71
Tabla 18: Criterios de evaluación de cada diseño.....	72
Tabla 19: Matriz de evaluación del diseño con T. de engranajes	73
Tabla 20: matriz de evaluación del diseño con T. flexible	74
Tabla 21: Matriz morfológica del armazón	75
Tabla 22: Matriz de evaluación del armazón.....	75
Tabla 23 Matriz morfológica del motor eléctrico	76
Tabla 24 Matriz de evaluación del motor eléctrico	76
Tabla 25: Características de Molino	94
Tabla 26 Efectividad OEE molino actual	96
Tabla 27: Número de Dientes de Engranaje	99
Tabla 28 Efectividad OEE rediseño molino	120
Tabla 29: Entradas/Salidas de Molino.....	130
Tabla 30 Comparación de máquinas	132

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Maíz Amarillo Duro.....	20
Figura 2: Comportamiento de la Producción y Superficie Cosechada.....	21
Figura 3: Canales de comercialización de la cadena de MAD.....	23
Figura 4: Tipos de molinos.....	23
Figura 5: Molino de piedras	24
Figura 6: Molino de viento.....	25
Figura 7: Molino de martillos.....	26
Figura 8: Molino de rodillos.....	27
Figura 9: Molino de bolas	27
Figura 10: Esquema de un molino de martillos	29
Figura 11: Esquema de Indicador OEE	31
Figura 12: Partes de un molino de martillos	33
Figura 13: Sistema de trituración	33
Figura 14: Tipos de martillos	34
Figura 15: Criba de molino de martillos.....	35
Figura 16: Principio de funcionamiento de molino de martillos.....	37
Figura 17: Sistema reductor de velocidad	38
Figura 18: Sistema multiplicador de velocidad	39
Figura 19: Bandas en V	39
Figura 20: Engranaje y piñón	40
Figura 21: Nomenclatura de un engranaje.....	40
Figura 22: Transportador Sin Fin	42
Figura 23: clasificación de sinfín	43
Figura 24: lazo abierto	45
Figura 25: Lazo cerrado	45
Figura 26: diagrama PLC	47
Figura 27: diagrama escalera.....	48
Figura 28: variador de velocidad.....	48
Figura 29: sensor de nivel	49
Figura 30: sensor de velocidad.....	49
Figura 31: modelo de Jhosep French.....	50
Figura 32: Armazón del molino de martillos.....	52
Figura 33: Parte interna del molino de martillos	52
Figura 34: Tolva de alimentación y motor de 25HP	53
Figura 35: molino de martillos y tolva	53
Figura 36: Molino de martillos.....	54
Figura 37: Eje de molino de martillos	54
Figura 38: Bosquejo del diseño 1	64
Figura 39: Radio de Giro.....	78

Figura 40: Velocidad Tangencial	79
Figura 41: Fuerza de Corte	80
Figura 42: Características de Martillos	81
Figura 43: Falla por Cizalladura	82
Figura 44: Diseño Eje Secundario	84
Figura 45: Fuerzas en Eje Secundario	85
Figura 46: diagrama de esfuerzos del eje secundario	86
Figura 47: Dimensión Eje Principal	89
Figura 48: Diagrama de cuerpo libre del eje principal.....	89
Figura 49: Diagrama de esfuerzos cortantes y momentos	90
Figura 50: Diagrama de Fuerzas en Eje Secundario	109
Figura 51: Diagrama de Cuerpo Libre.....	111
Figura 52: Diagrama de Fuerzas en los Ejes	112
Figura 53: Diagrama de Momentos	112
Figura 54: Armazón de Molino	115
Figura 55: Tapa de Armazón.....	116
Figura 56: Tornillo Sinfín	117
Figura 57: Armazón del Transportador	118
Figura 58: Transportador Sinfín	118
Figura 59: Rediseño Final del Molino	121
Figura 60: Análisis Estático de Martillos	122
Figura 61: Análisis Estático de Discos	123
Figura 62: Análisis Estático de Ejes Principales.....	124
Figura 63: Motor Eléctrico ABB	126
Figura 64: Circuito Estrella-Triángulo	126
Figura 65: Tablero de Control.....	127
Figura 66: Sensor de Velocidad	128
Figura 67: Variador de Velocidad	129
Figura 68: Sensor de Nivel.....	130
Figura 69: PLC Schneider	131
Figura 70: Características de PLC	131

I. INTRODUCCIÓN

La Industria molinera peruana ha experimentado una producción de maíz amarillo deficiente en los últimos tiempos. Esto, es debido a la baja comercialización del producto y a la falta de inversión de máquinas necesarias para mejorar la producción de dicho producto. Esto ha ocasionado que la pequeña y mediana empresa disminuya sus ingresos y se debilite por su caída en la producción.

Esta situación implica en la Empresa procesadora de maíz amarillo duro “Molino’s San Antonio de Padua S.A.C”, la cual presenta una baja eficiencia, debido a atascamientos por sobrecargas, desgastes en los martillos, deformaciones en la criba, etc. en su máquina moledora, el molino de martillos. Esto hace que la empresa disminuya su producción y aumente el tiempo de entrega del producto procesado.

Debido a esta situación, se desea rediseñar un molino de martillos utilizando doble eje y sistema de control automático en la Empresa “Molino’s San Antonio de Padua S.A.C” para poder aumentar la eficiencia en la trituración de maíz, aumentar la capacidad de molienda y alcanzar a estándares de calidad del producto.

En este proyecto se analizará la situación actual del molino de martillos para luego seleccionar las características y parámetros que resultan importantes para su rediseño. Así como también se diseñará un eje utilizando la Norma AISI-SAE y el software Solidworks, e implementar un sistema de control automático como por ejemplo: variadores de velocidad, sensores de nivel de carga, etc. Esto ayudará a mejorar los costos e ingresos de la empresa y a la vez ser más eficiente.

SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

En la actualidad, el maíz amarillo duro es el tercer cultivo en importancia a nivel nacional y constituye uno de los principales enlaces de la Cadena Agroalimentaria del país, el cual se inicia con el cultivo del maíz, proceso en la industria y termina en las cadenas y empresas de carne de aves y cerdos respectivamente.

Existen industrias molineras que utilizan máquinas de fabricación casera tienen problemas al momento de su funcionamiento, como el caso de la Empresa “Molino´s San Antonio de Padua S.A.C”, que se rige por procesar el maíz amarillo duro, en diferentes derivados; presenta un problema muy estricto en el molino de martillos, máquina por el cual se origina toda la tritución del maíz. Dicho problema se genera por diferentes causas que trae el maíz desde su cultivo hasta su almacenamiento, es decir, problemas como: atascamientos por sobrecargas debido a la capacidad de la máquina, presencia de objetos metálicos en el molino, desgastes y deformaciones en los martillos, etc.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Será factible el rediseño electromecánico de un molino de martillos utilizando doble eje y sistema de control automático para aumentar la eficiencia en la tritución de maíz de la empresa Molino´s San Antonio de Padua S.A.C?

OBJETIVO GENERAL

Rediseño electromecánico de un molino de martillos utilizando doble eje y sistema de control automático para aumentar la eficiencia en la tritución de maíz de la Empresa “Molino´s San Antonio de Padua S.A.C”.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar la situación actual del molino de martillos en la Empresa “Molino´s San Antonio de Padua S.A.C”.
- Seleccionar los parámetros y características para el rediseño de un molino de martillos.
- Diseñar los ejes para el molino de martillos según norma AISI-SAE y utilizando software SOLIDWORKS.
- Implementar un sistema de control automático en el proceso de producción del molino de martillos en la Empresa “Molino´s San Antonio de Padua S.A.C”.

- Realizar el rediseño electromecánico del molino de martillos utilizando doble eje y sistema de control automático para aumentar la eficiencia en la tritución de maíz de la Empresa “Molino’s San Antonio de Padua S.A.C”.

JUSTIFICACIÓN

La importancia de este proyecto es aumentar la eficiencia de tritución en la empresa “Molino’s San Antonio de Padua S.A.C”, para eso se requiere realizar un rediseño del molino de martillos utilizando doble eje y sistema de control automático, enfocándonos en los criterios y parámetros de diseño importantes; y así poder aumentar su competitividad en las empresas.

El rediseño del molino de martillos también tiene como meta reducir los costos de mano de obra, mantenimiento, equipos y herramientas, etc. Debido a las fallas existentes en el proceso (atascamientos por sobrecargas, desgastes en los martillos, deformaciones en la criba, etc.)

Este proyecto ayudará no solo a las demás empresas procesadoras de maíz amarillo duro, sino también a las empresas procesadoras de trigo, arroz, maní, etc. Ya que muchas de las empresas situadas en la región de Lambayeque utilizan máquinas ortodoxas y tienen problemas similares a los de la empresa “Molino’s San Antonio de Padua S.A.C”.

En el rediseño de dicha máquina reducirá la contaminación, porque al utilizar doble eje y sistema de control automático minimizará las pérdidas de maíz amarillo duro que entran y salen en el proceso del molino de martillos, ya que esto genera contaminación auditiva, gustativa, visual, etc., en los trabajadores y también en el ambiente.

Se utilizará un sistema de control automático en el proceso del molino de martillos para aumentar su eficiencia en un porcentaje mayor que le permita mejorar competitivamente, para esto se implementaran variadores de velocidad, sensores de nivel de carga, sensor de flujo, y lo necesario para tener un funcionamiento más eficiente.

En las industrias molidoras peruanas que mayormente utilizan máquinas ortodoxas, se podría realizar investigaciones aplicativas en cada proceso de la empresa, desde el almacenamiento del producto hasta su comercialización. Ya que este proyecto solamente se basa en el rediseño de un molino de martillos para el proceso de molienda y chancado de maíz amarillo duro de la empresa “Molino’s San Antonio de Padua S.A.C”.

HIPÓTESIS

Debido a la demanda de maíz en el mercado nacional, la empresa Molino's San Antonio de Padua, desea aumentar la eficiencia en la trituración de maíz para volverse más competitivo, por ello se realizará el rediseño del molino de martillos, por ser la máquina más importante para la producción de este grano.

Con el rediseño del molino de martillos se quiere lograr una mayor eficiencia en relación a su capacidad, que es el que permitirá reducir los tiempos de trituración, así como también los costos de mantenimiento y mano de obra utilizando un sistema de control automático en los mecanismos influyentes en el proceso del maíz.

II. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

2.1. Antecedentes

En la actualidad, existen plantas comercializadoras de maíz, por la cual utilizan un sistema mecánico y eléctrico para la producción de esta materia prima, cabe señalar la importancia del molino de martillos para producción de estos granos que se utilizan en la alimentación aviar, vacuno y otros.

En el medio local, existen empresas pequeñas que se dedican más a la reparación mecánica de este tipo de equipos, sin tener un registro de las tecnologías de diseño y reparación de los cuales se puede nutrir en futuros diseños de mejoramiento e innovación, y en otros países desarrollan este tipo de producto con tecnologías más avanzadas y para producciones a gran escala siendo inaccesible su adquisición debido a su elevado costo

En la tesis de Niño de Guzmán D. (2006), titulada “Diseño de un molino de martillos de doble eje” realizada en la UNI, propone su diseño con la finalidad de pulverizar el material para satisfacer el mercado, ya que dichos productos son incentivados para la exportación de los productos agroindustriales. Dándole como resultado un diseño sencillo y eficiente, pero robusto de moledora en cruz suspendida, de fácil acceso y limpieza.

Cuadrado I. y Rueda J. (2009), en su tesis titulada “Diseño y construcción de un molino de martillos” en la USFQ, manifiesta la poca importancia que le conceden al sector agropecuario y proponiendo un molino para la producción de harina de trigo de tal manera que sea de bajo costo de adquisición del equipo.

Mientras que Muñoz J. (2014) en su tesis “Rediseño de una planta de procesamiento de granos, en la facultad de ciencias Pecuarias-ESPOCH”, propone con la finalidad de aumentar la producción de grano molido, rediseñando un molino de martillos partiendo del estado del arte para dicha producción, incrementando el área del tamiz y asegurando su funcionamiento con factor de seguridad de dos para análisis estático y de fatiga en los martillos y el contra martillo. Obteniendo resultados satisfactorios y eficientes para la producción del maíz, realizando pequeñas modificaciones en el mismo.

Por otro lado, Bermeo D. (2014) tesis titulada “Diseño y construcción de un molino de martillos triturador de granos para granjas avícolas”, propone este diseño determinando que al realizar el proceso de trituración del grano de forma manual representa tiempo y gran esfuerzo físico, siendo de esta manera inadecuado en el mantenimiento de granjas, por lo tanto se genera la necesidad de la construcción de dicho molino, lo cual implica reducción de costos de productividad y por lo tanto mayor competitividad al comercializar las aves.

Sin embargo, para qué dicha maquina sea más eficiente y el proceso de producción sea elevado, se implementa un sistema de control automático. Ya que en los inicios de la era industrial, el operario llevaba a cabo un control manual para las diferentes variables físicas que se involucran en los procesos industriales, pero debido al aumento de los procesos se ha exigido un control progresivo por medio de elementos de medición y control automático.

Montenegro M. (2011), en su tesis “Propuesta de automatización de máquina procesadora de harina de maíz y arroz en la industria agrícola” manifestó que el proyecto se ejecutara para solucionar el problema de poca producción y obtener una harina de mejor calidad, por el cual diseño e implemento el monitoreo y control de motores y accionadores, mediante el control de un PLC.

2.2.Materia prima para la producción

2.2.1. Maíz amarillo duro (MAD)

El MAD constituye uno de los principales enlaces de la cadena agroalimentaria del país, la cual se inicia con su cultivo en las cadenas e industrias de carne de aves y cerdos respectivamente.

Esta cadena productiva tiene sus eslabones hacia adelante con la avicultura y porcicultura, que son cadenas importantes debido a su alta participación (pollo y cerdo) en el sector agropecuario, específicamente en la cadena familiar de las peruanas.



Figura 1: Maíz Amarillo Duro

Fuente: (Agraria, Dirección de Información, 2012)

Este producto es considerado sensible dado su importancia e implicancias en diversos aspectos y eslabones del sector agropecuario. Una de las características de producción de este cultivo que presenta algunas desventajas debido fundamentalmente que los productores nacionales en su gran mayoría, poseen unidades productivas de menores a 5 hectáreas, por lo que su poder de negociación con los intermediarios y/o mayoristas se reduce o es muy bajo.

2.2.2. Características productivas del MAD

El MAD producido en el Perú posee un alto valor proteico y buena concentración de caroteno a diferencia del maíz amarillo duro importado, por lo que es apreciado por las principales empresas dedicadas a la industria avícola, que minimizan el uso de harina de marigold en la alimentación de sus aves para la producción de carne y huevos.

El MAD es el tercer cultivo en importancia a nivel nacional y tiene una relevancia fundamental debido a que forma parte de la cadena de maíz amarillo duro, avicultura, porcicultura, la cual es más importante en términos de la actividad económica y social para el país.

2.2.3. Producción

La producción de MAD ha venido creciendo a una tasa promedio de 1.8% en los últimos nueve años, el mismo que viene sustentando por una mayor área cosechada en el año 2009 de 301.2 miles de hectáreas.

La superficie cosechada al mes de septiembre del presente año es alrededor de 221.7 mil hectáreas, existiendo un crecimiento del 8.6% con respecto al mismo periodo del

año anterior. La producción de MAD a septiembre del año 2012, es aproximadamente de 996.8 mil toneladas, los tres principales productores con una participación en la producción son Lima (22.6%), la libertad (18.2%) y San Martín (10.2%), concentrando el 51% de toda la producción nacional.

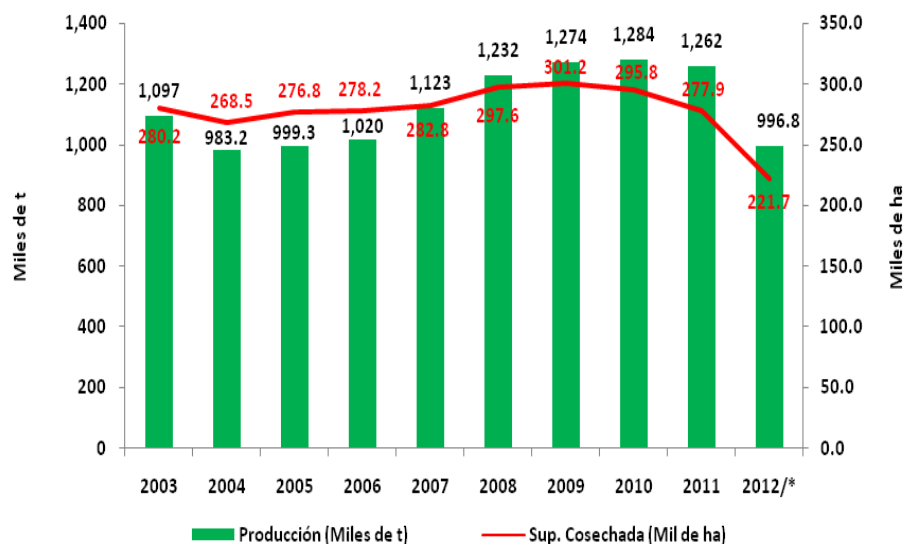


Figura 2: Comportamiento de la Producción y Superficie Cosechada

Fuente: MINAG-OEEE (Oficina de Estudios Económicos y Estadísticos)

Tabla 1: Producción y Superficie Cosechada Nacional

Regiones	Superficie Cosechada (ha)			Producción (t)			
	2011	2012	Var %	2011	2012	Var %	Part %
San Martín	44,568	49,805	11,8%	90,225	102,043	13,1%	10,2%
Loreto	14,312	7,998	-44,1%	34,172	19,436	-43,1%	1,9%
Lima	24,200	24,231	0,1%	218,466	225,311	3,1%	22,6%
Huánuco	9,859	9,773	-0,9%	30,304	31,429	3,7%	3,2%
Piura	12,968	12,605	-2,8%	55,488	45,279	-18,4%	4,5%
Cajamarca	19,243	18,930	-1,6%	56,873	58,169	2,3%	5,8%
Ucayali	4,874	9,042	85,5%	11,216	19,970	78,1%	2,0%
La Libertad	14,706	20,976	42,6%	122,198	181,282	48,4%	18,2%
M. de Dios	3,996	4,533	13,4%	8,692	9,976	14,8%	1,0%
Junín	4,643	4,572	-1,5%	12,821	12,930	0,9%	1,3%
Amazonas	9,927	9,904	-0,2%	22,501	23,054	2,5%	2,3%
Ancash	9,233	10,854	17,6%	47,123	55,774	18,4%	5,6%
Ica	8,266	8,842	7,0%	72,990	80,083	9,7%	8,0%
Lambayeque	10,190	16,247	59,4%	67,527	97,301	44,1%	9,8%
Puno	2,308	2,390	3,6%	3,917	4,138	5,6%	0,4%
Pasco	3,504	3,005	-14,2%	5,430	4,545	-16,3%	0,5%
Cusco	2,780	1,705	-38,7%	4,888	2,956	-39,5%	0,3%
Resto del País	4,471	6,309	41,1%	13,398	23,127	72,6%	2,3%
Total	204,047	221,720	8,7%	878,229	996,803	13,5%	100%

Fuente: MINAG-OEEE

2.2.4. Comercialización del MAD

Una de las principales características en la comercialización de este cultivo es la informalidad de los agentes que participan en los distintos canales de intercambio, los que ocasiona evasión y elución del impuesto general de las ventas (IGV). Debido a

esta informalidad en gran parte de la cadena productiva, se dificulta la aplicación de medidas de implementación de intervenciones y estrategias para el apoyo a los productores.

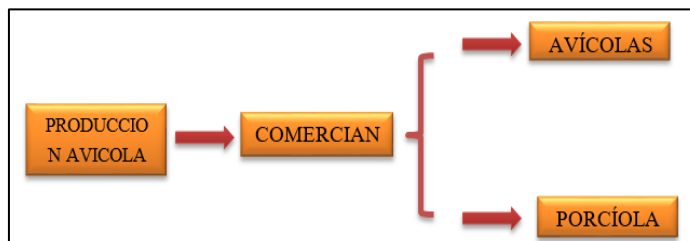


Figura 3: Canales de comercialización de la cadena de MAD
Fuente: Plan estratégico del MAD Avícola-Porcícola, MINAG 2003

Es necesario realizar esfuerzos en mejorar la comercialización de este producto, básicamente para poder generar una mayor formalización de los distintos agentes que intervienen en toda la cadena de valor del MAD. Esto trae consigo, una menor evasión del IGV, generando una mayor base tributaria y lo que nos permitiría establecer mayores proyectos directos en la mejora tecnológica y capacidades en la producción de este cultivo.

2.3. Molinos

Los molinos son equipos mecánicos diseñados para la reducción de sólidos que requieren un determinado tamaño, forma, área superficial, uniformidad y cantidad, ya sea de alimentos o materiales, además que al reducirse el tamaño se facilita su manipulación y almacenamiento. Los molinos se utilizan en diferentes campos como en la minería, agricultura, entre otros. Los molinos utilizan diferentes métodos para su funcionamiento.



Figura 4: Tipos de molinos
Fuente: (Ramirez Villacis, 2001)

En la actualidad existen varias clases de molinos, muchos de ellos hasta ahora se utilizan a pesar de tener algunos siglos de invento. Entre ellos están:

a. Molino de piedras

Fueron los primeros empleados en la agricultura desde tiempos remotos, pero en la actualidad no se utilizan en países desarrollados. Pueden ser de eje horizontal o de eje vertical siendo estos últimos de mayor rendimiento

Su efecto es producir una presión aplastante tan intensa entre las dos superficies de las muelas o piedras, de tal manera que las envueltas de los granos revienten destruyéndose su estructura interna. De las dos muelas, una se encuentra fija, y la otra es móvil. Los granos penetran axialmente por el llamado ojo del molino y el producto final sale por la fuerza centrífuga, en sentido radial. El diámetro de las piedras oscila entre 20 y 50 cm, y la velocidad de giro entre 250 y 1000 rpm.



Figura 5: Molino de piedras

Fuente: (Diseño y construcción de una máquina picadora de bagazo de caña de azúcar, 2011)

b. Molino de viento

El molino movido por el viento tiene orígenes muy antiguos. Se dice que en el Siglo XII de la era cristiana se encontraban algunos de estos en las ciudades persas. La particularidad de este molino radicaba en que la rueda que sujetaba las aspas era horizontal y estaba soportada sobre un eje vertical.

El principio básico del molino de viento es el de transformar el viento en energía útil o aprovechable. Este tipo de molino posee aspas oblicuas (de 3 y 9 metros de longitud), que están unidas a un eje común, la fuerza del viento hace que dichas aspas a cierta velocidad siga produciendo energía. El eje común se conecta a ciertos sistemas de engranajes y estos a su vez a unas piedras, que son los encargados de triturar los diferentes granos.



Figura 6: Molino de viento

Fuente: (Diseño y construcción de una máquina picadora de bagazo de caña de azúcar, 2011)

c. Molino de discos

Llamados también molinos de platos, consiste en dos discos generalmente de diámetro entre 102 mm y 1 524 mm que se frotan uno al otro. Son similares a los de piedras, pudiendo ser así mismo de eje horizontal o de eje vertical. Un disco generalmente se mueve y el otro está fijo.

Los molinos de disco generalmente son buenos para moliendas gruesas y en algunos casos para una molienda media, la molienda fina es muy difícil lograrla con molinos de disco.

La velocidad de alimentación al molino se controla con unas compuertas corredizas o con un alimentador positivo, como un tornillo sin fin.



Figura 1: Molino de discos

Fuente: (MIKROCAT ENGINEERING, 2015)

d. Molino de martillos

Consiste en piezas (martillos) que pueden ser fijos u oscilantes, montados en un eje de rotación y disponen de una criba o malla a través de la cual pasa el producto. Son los más utilizados, el material o producto se tritura por percusión, es decir, la ruptura del grano se consigue al chocar los martillos contra los granos que

producen en primer lugar la deformación plástica del grano seguida por estallido, la tritución continua hasta que las partículas son capaces de atravesar los orificios de la criba

A medida que el producto pasa a través de la criba, cae a un pozo de almacenamiento, por el cual un elevador lleva el producto a una clasificadora o a la molienda. La alta velocidad con que trabajan los martillos es excelente ara una conexi3n directa con un motor el3ctrico.



Figura 7: Molino de martillos
Fuente: (MIKROCAT ENGINEERING, 2015)

e. Molinos de rodillos

Consta de dos rodillos que generalmente est1n acanalados y que est1n paralelos al eje del rodillo. Los rodillos se mueven en sentido inverso, uno a una velocidad y el otro a dos o tres veces la velocidad del otro.

Las necesidades de potencia del motor van a depender de:

- La clase y la calidad del grano
- Al grano de molienda
- A la condici3n de los rodillos
- Al contenido de humedad del grano
- A la velocidad de operaci3n
- A la potencia disponible
- A la velocidad de alimentaci3n

El molino de rodillos se utiliza intensamente en la industria de harinas, en la cual dos rodillos se mueven en sentido opuesto y a diferentes velocidades, para la

operación final de la fabricación de harina se usan rodillos suaves de los cuales uno opera a una velocidad 25% mayor que la del otro.

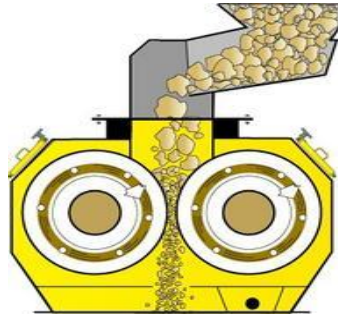


Figura 8: Molino de rodillos
Fuente: (MIKROCAT ENGINEERING, 2015)

f. Molino de bolas

El molino de bolas es una carcasa cilíndrica que gira su propio eje, esta envoltura se encuentra llena aproximadamente hasta la mitad de bolas de acero, las bolas de acero son el medio de molienda. Este equipo es ampliamente utilizado en los siguientes campos: cemento, productos de silicato, materiales de construcción, materiales a prueba de fuego, fertilizantes, metal negro y de color, cerámica y vidrio, etc.

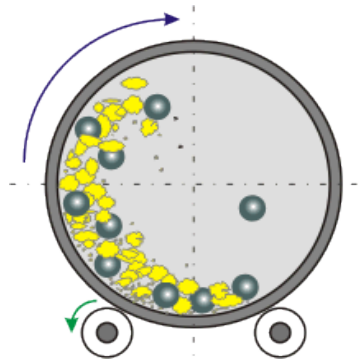


Figura 9: Molino de bolas
Fuente: (MIKROCAT ENGINEERING, 2015)

2.4.Reducción de tamaño de solidos

Las operaciones unitarias que reducen el tamaño de partículas son procesos industriales muy importantes, en efecto se aplican para rocas, carbón, cemento,

plásticos, granos, etc. Los equipos que se usan para disminuir el tamaño de partículas se denominan molinos.

En muchas industrias de alimentos, la reducción de tamaño puede ayudar a procesos de extracción de alimentos, a disminuir los tiempos de cocción, etc. Los equipos que muelen grandes aglomerados se denominan “crushers” en inglés, mientras que los que muelen partículas de pequeños tamaños se denominan “mills”.

En la siguiente tabla se presenta una clasificación de equipos de molienda en función del tamaño del material requerido.

Tabla 2: Tipos de molinos de acuerdo al tamaño del producto final

Rango de reducción de tamaño	Nombre genérico del equipo	tipo de equipo
Grueso e intermedio	Molinos de gruesos: "Crushers"	De rodillos
Intermedio y fino	Molinos de finos: "Mills o Grinders"	De martillo
		Disco de atrición
		de rodillos
Fino y ultra fino	Molinos de ultra finos: "Ultrafine grinders"	De martillo
		De bolas

Fuente: <http://www.criba.edu.ar/cinetica/solidos/Capitulo9.pdf>

Para la reducción de tamaños de sólidos se pueden emplear cuatro tipos de fuerzas:

- Fuerza de corte
- Fuerza de compresión
- Fuerza de impacto
- Fuerza de frotación, cizalla o rozamiento

El proyecto está orientado al rediseño de un molino de martillos de la empresa “Molino’s San Antonio de Padua S.A.C”, involucrando dentro de los sistemas de reducción de tamaño de productos sólidos deshidratados, semillas, granos, productos no metálicos, etc. Tan importantes en los procesos utilizados en la industria

alimentaria e industria en general, constituyéndose como un proceso que complemente un diseño sincronizado con máquinas y equipos de un proceso integrado de producción.

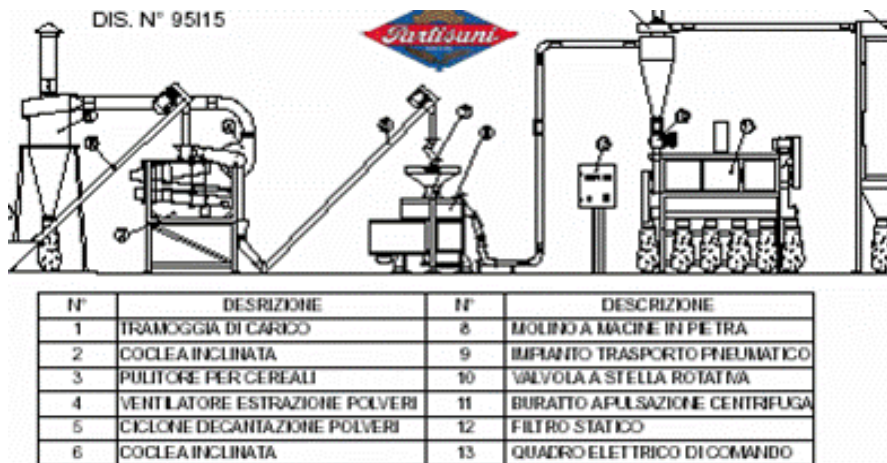


Figura 10: Esquema de un molino de martillos

Fuente: O. Niño de Guzman, "Diseño de un Molino de Martillo de Doble Eje", UNI, 2006

2.4.1. Tipos de molienda

Los métodos de reducción más empleados en las máquinas de molienda son compresión, impacto, frotamiento de cizalla y cortado. Los tamaños de salida de los productos de esta etapa, según Hukki, serán los siguientes:

Tabla 3: Tamaños de molienda

Tipo de proceso	Tamaño de salida
Molienda gruesa	1 – 5 (mm)
Molienda media	200 – 500 (μm)
Molienda fina	50 – 100 (μm)

Fuente: (Operaciones unitarias en Ingeniería Química; Warren McCabe, 1998)

- Tamaño: para el proceso de molienda el tamaño de los fragmentos tienen un factor de gran importancia en la potencia del sistema. Los materiales de entrada de acuerdo a su tamaño se clasifican de la siguiente manera:
 - Material grueso: fragmentos de un tamaño mayor a 750 (mm)
 - Material mediano: fragmentos de un tamaño de 100 a 750 (mm)

- Material fino: fragmentos de una tamaño menor a 100 (mm)

Por otra parte, según el tamaño que tienen las partículas a la salida de las máquinas de desintegración, se pueden distinguir las distintas etapas de molienda.

- Molienda (desintegración final)
 - Molienda grosera: tamaños de partículas de salida: entre 1 a 5 (mm)
 - Molienda fina y media: tamaños de partículas de salida: menores de 0,05 y 1 (mm)
- Grado de desintegración o desmenuzamiento

El coeficiente de reducción que se obtiene en las máquinas de trituración o de molienda se denomina grado de desintegración y se define como la relación entre los tamaños de las partículas a la entrada y salida de la máquina. El grado de desintegración (i_d) se expresa de la siguiente manera:

$$i_d = \frac{D_{m\acute{a}x}}{d_{m\acute{a}x}}$$

Donde:

$D_{m\acute{a}x}$: mayor dimensión del material antes de la subdivisión en (mm)

$d_{m\acute{a}x}$: mayor dimensión lineal del material desmenuzado en (mm)

El grado de desintegración en el proceso de trituración se encuentra acotada entre 2 y 10, mientras que en la molienda está en el rango de 10 a 100 y para proceso de pulverización mayor de 100. (DUDA H)

2.4.2. Indicador OEE

Este proyecto enfoca también en la parte de la producción del maíz. Lo que se requiere es aumentar la producción a partir del molino de martillos, para eso se utilizará un indicador, que nos permita ver en qué estado se encuentra la máquina, y así, determinar su rendimiento en la producción.

El OEE (Overall Equipment Effectiveness) o Eficiencia Global de los equipos, es un indicador que permite medir la eficiencia con la que trabaja un equipo o un proceso. El OEE también se puede entender como la relación que existe entre el tiempo que

teóricamente debería haber costado fabricar las unidades obtenidas (sin paradas, a la máxima velocidad y sin unidades defectuosas) y el tiempo que realmente ha costado.

Según la siguiente figura, el OEE se representa de la siguiente manera [7].



Figura 11: Esquema de Indicador OEE

Fuente: C. Casilimas, R. Poveda, Tesis [7]

$$OEE = Disponibilidad \times Rendimiento \times Calidad$$

El valor de la OEE permite clasificar una o más líneas de producción, o toda una planta, con respecto a las mejores de su clase y que ya han alcanzado el nivel de excelencia [7].

Tabla 4: Clasificación OEE

OEE	CLASIFICACIÓN	CARACTERÍSTICAS
< 65%	Inaceptable	Importantes pérdidas económicas. Muy baja competitividad
≥ 65% < 75%	Regular	Aceptable solo si se está en proceso de mejora. Pérdidas económicas. Baja competitividad
≥ 75% < 85%	Aceptable	Ligeras pérdidas económicas. Competitividad ligeramente baja.
≥ 85% < 95%	Buena	Buena competitividad
≥ 95%	Excelencia	Excelente competitividad

Fuente: C. Casilimas, R. Poveda, Tesis [7]

El OEE contempla las siguientes pérdidas:

- Paradas/Averías
- Configuración y ajustes
- Pequeñas paradas
- Reducción de velocidad
- Rechazos por puesta en marcha
- Rechazos de producción

Las pérdidas del proceso se clasifican en 3 grandes grupos:

- Pérdidas por Disponibilidad: aparecen siempre que se produce una parada de la maquina (averías, cambio de formato, falta de material, falta de personal, arranque de máquina, etc.)

$$Disponibilidad = \frac{Tiempo\ Operativo}{Tiempo\ Disponible}$$

- Pérdidas por Rendimiento: cuando la máquina no ha parado, pero fabrica a una velocidad inferior a la teórica. Incluye las microparadas (paradas de muy poca duración pero muy frecuentes) y el funcionamiento degradado (reducción de velocidad por problemas de calidad, por inicio de fabricación, etc.)

$$Rendimiento = \frac{Tiempo\ Operativo\ neto}{Tiempo\ Operativo}$$

- Pérdidas por Calidad: cuando fabricamos un producto no conforme, hemos consumido tiempo de la máquina y hemos incurrido en pérdidas por calidad. También ocurre cuando reprocesamos el producto defectuoso.

$$Calidad = \frac{Tiempo\ Productivo}{Tiempo\ Operativo\ neto}$$

2.5.Molino de martillos

2.5.1. Definición

El molino de martillos es una maquina destinada para procesos como trituración y molienda, es un tipo de molino de impacto o percusión, tiene la ventaja de ser

capaz de procesar muchos y tipos de materiales, así como la producción de partículas de diversos tamaños, simplemente cambiando la pantalla de salida.

2.5.2. Partes del molino de martillos

Un molino de martillos cuenta con elementos como: la cubierta, cámara de desintegración, boca de entrada de producto en la parte superior, y la boca de descarga cerrada por rejilla o criba como se observa en la figura N°10

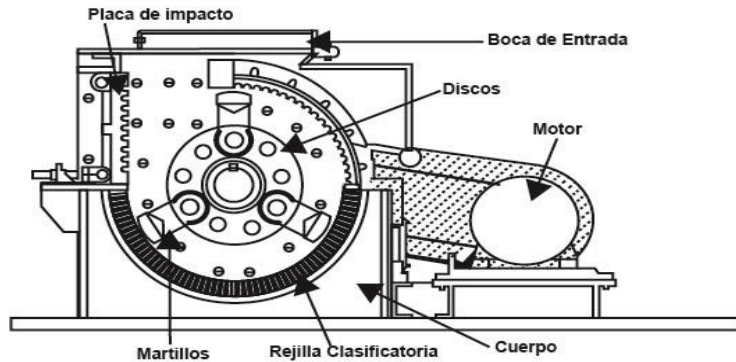


Figura 12: Partes de un molino de martillos
Fuente: (MIKROCAT ENGINEERING, 2015)

2.5.3. Cámara de trituración o desintegración

La cámara de trituración del molino, en la figura N°10 se presenta las partes del sistema de trituración.



Figura 13: Sistema de trituración
Fuente: (MIKROCAT ENGINEERING, 2015)

La cámara de trituración está formado por elementos como: discos porta martillos, ejes secundarios, herramientas de percusión (martillos), eje principal y la criba, a continuación se detallan los elementos:

- a) Eje principal: es el eje de rotación en que se encuentran acoplados los discos, y soporta el del sistema de trituración (ejes secundarios, martillos). Ambos extremos de los ejes son roscados para fijarlos al sistema de trituración por medio de discos de separación.
- b) Ejes secundarios: también denominados ejes porta martillos, contiene a los martillos de trituración.
- c) Discos: son discos de separación que sujetan a los ejes secundarios.
- d) Martillos: también llamada herramienta de impacto o de percusión, es la encargada del proceso de molienda o trituración. Los martillos son móviles, este sistema se utiliza ya que le otorga la capacidad de transmitir toda la fuerza acumulada hacia el producto a moler, cada martillo es distribuido de tal manera que no se golpeen entre, esto se logra mediante separadores.

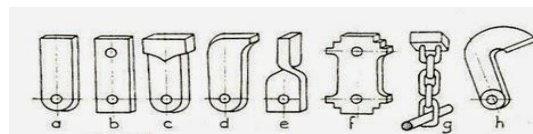


Figura 14: Tipos de martillos
Fuente: (MIKROCAT ENGINEERING, 2015)

- (a) El más empleado y el más simple
 - (b) Martillo reversible
 - (c) Martillo pesado con ensanchamiento de la cabeza
 - (d) Martillo para materiales tenaces y fibrosos
 - (e) Martillo para pulverización
 - (f) Martillo reversible
 - (g) Martillo formado por una masa metálica y cadena para el desterronamiento de abonos
 - (h) Martillo con forma de cuchilla
- e) Criba: la criba o rejilla se encuentra en el interior del molino de martillos, su función es definir el tamaño final de la partícula, todo depende del diámetro de perforación de la plancha, como se ve en la figura N°14

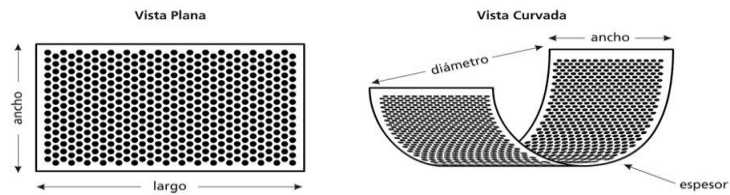


Figura 15: Criba de molino de martillos
Fuente: (MIKROCAT ENGINEERING, 2015)

Otra de las partes importantes que constituyen el molino de martillos es el motor, el mismo que puede ser eléctrico o de combustión, y es el encargado de proporcionar la potencia necesaria para girar el sistema de trituración a una velocidad angular preestablecida.

Los trituradores de rotor requieren una energía que va aproximadamente, de 1 hasta 2 kWh/t de material triturado; los de dos rotores, entre 1,3 hasta 2 kWh/t. Se puede calcular la potencia necesaria para el molino con la siguiente ecuación:

$$P_m = \frac{G * R^2 * n^3 * e * f}{8 * 1\,000\,000 * \eta}$$

Donde:

P_m = potencia del motor (W, HP o CV)

G = peso de un martillo (Kg)

R = diámetro del disco (m)

n = RPM del rotor

e = número de martillos

f = factor dependiente de la velocidad tangencial de los martillos, cuyos valores se muestran en la tabla N°

η = rendimiento mecánico

También la potencia necesaria para el molino se puede determinar teniendo en cuenta como parámetro el caudal y el grado de desmenuzamiento, como se expresa en la siguiente ecuación empírica.

$$P_m = (0,1 \text{ a } 0,15) * i_d * Q$$

El factor “ f ” depende de la velocidad de rotación de los martillos, es decir de la velocidad tangencial que está dada por el valor óptimo recomendado para molinos

de martillos. Como se muestra en la siguiente tabla, de acuerdo a la velocidad tangencial se puede obtener el valor f .

$$V_t = \frac{2 * \pi * Rg * n}{60}$$

Tabla 5: velocidad tangencial

Velocidad tangencial	Factor “f”
m/s	
17	0,0220
20	0,0160
23	0,0100
26	0,0080
30	0,0030
40	0,0015

Fuente: (Duda, pág. 45)

Sin embargo, debido a que la potencia está en función del caudal y del grado de desmenuzamiento, también se puede determinar el caudal, teniendo como parámetro la potencia y el grado de desmenuzamiento, esta expresada en la siguiente ecuación (DUDA H., 2007 pág. 45)

2.5.4. Ventajas y desventajas

En la siguiente tabla se detalla las ventajas y desventajas que tiene el molino de martillos, con respecto al diseño y funcionamiento.

Tabla 6: Ventajas y Desventajas de un molino de martillos

Ventajas	Desventajas
Simplicidad, durabilidad y versatilidad	Inhabilidad para producir una trituración y molienda uniforme
Manipula cualquier tipo de granos	Requerimientos altos de potencia
Bajo costo de mantenimiento	Menor eficiencia en la utilización de energía
Mantiene su eficiencia original a través de varios periodos de tiempo	Elevación de la temperatura
Puede moler granos con porcentaje de humedad altos	Mayor pérdida de humedad
Mayor homogeneidad en la trituración y molienda	Mayor uniformidad en la partícula
Se puede moler ingredientes mezclados	

Fuente: Elaboración propia

2.5.5. Principio de funcionamiento

El principio de funcionamiento de un molino de martillos no es complejo, e inicia por la boca superior por donde ingresa el producto a ser triturado y por gravedad cae al interior de la cámara de desintegración, el eje gira a gran velocidad y por presencia de la fuerza centrífuga los martillos se posicionan perpendicularmente en posición de trabajo, los martillos golpean el producto que se encuentra en el interior del molino, posteriormente choca contra la cámara de desintegración y nuevamente es golpeado por los martillos, este proceso ocurre sucesivamente hasta que el producto alcance un tamaño tal que pueda pasar por la criba o rejilla como se observa en la figura N°14.

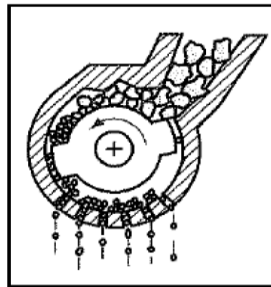


Figura 16: Principio de funcionamiento de molino de martillos
Fuente: (MIKROCAT ENGINEERING, 2015)

El tamaño de salida de los productos triturados puede variar cambiando la criba (tamaño de los orificios de la criba) de salida, la velocidad del eje o configuración del martillo. Por ejemplo, la velocidad más rápida, una criba más pequeña, y mayor número de martillos dan como resultado un producto final más fino.

(C. Hall y F. Salas Arango, Equipo para procesamiento de productos agrícolas, pág. 8) Es recomendable que la velocidad de rotación del molino de martillos se encuentre entre 2500 a 3500 rpm, la velocidad en las puntas de los martillos puede variar entre 70 a 100 m/s, mientras que la separación de los martillos se encuentra de 1,5 a 7,5 cm dependiendo a triturar.

La capacidad de un molino depende de la clase de grano, la fineza de la molienda, la potencia disponible, la velocidad y el contenido de humedad del producto. Normalmente se requiere alrededor de 1 hp por $\frac{1}{2}$ hectolitro o 45 kg/hora para molienda media.

La alimentación del producto puede ser por los lados o por los extremos de los martillos. En general el punto de admisión está situado casi directamente sobre el eje del rotor, de tal modo que si se mira al molino cuando gira en el sentido de las agujas del reloj la admisión esta entre las posiciones de la una y de las dos.

2.6. Sistema de transmisión de potencia

Los mecanismos de transmisión son aquellos en los que el elemento motriz y el elemento conducido tienen el mismo tipo de movimiento. Transmiten el movimiento desde un punto hasta otro distinto, siendo en ambos casos el mismo tipo de movimiento.

Tenemos dos tipos

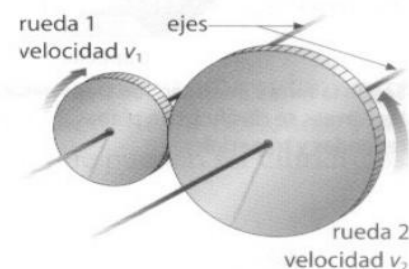
- Transmisión lineal: en este caso, el elemento de entrada y de salida tienen movimiento lineal (palancas, poleas).
- Transmisión circular: en este caso, el elemento de entrada y el de salida tienen movimiento circular (sistema de poleas con correa, sistema de engranajes).

2.6.1. Sistema de transmisión por poleas con correa

Se trata de dos ruedas situadas a cierta distancia, que giran a la vez por efecto de una correa o banda. Las correas suelen ser cintas de cuero flexibles y resistentes.

Según el tamaño de las poleas tenemos dos tipos:

- Sistema de reductor de velocidad: en este caso, la velocidad de la polea conducida es menor que la velocidad de la polea motriz. Esto se debe a que la polea conducida es mayor que la polea motriz.



*Figura 17: Sistema reductor de velocidad
Fuente: (Mecanismos y Circuitos, 2012)*

- Sistema multiplicador de velocidad: en este caso, la velocidad de la polea conducida es mayor que la velocidad de la polea motriz. Esto se debe a que la polea conducida es menor que la polea motriz.

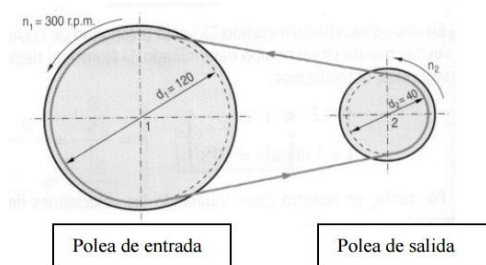


Figura 18: Sistema multiplicador de velocidad
Fuente: (Mecanismos y Circuitos, 2012)

También se tienen diferentes tipos de elementos flexibles de transmisión:

- ✓ Correas planas
- ✓ Correas en V: estándar, angostas, múltiples, hexagonales.
- ✓ Correas sincronizadas

Este tipo de transmisión genera las siguientes desventajas:

- ✓ La diferencia de longitud entre correas generara una tensión diferente en cada correa al tensar el conjunto.
- ✓ Cada correa será capaz de tomar carga hasta llegar a su límite impuesto por su lado menos tenso.
- ✓ Las más cortas pueden llegar a sobrecargarse y romperse.
- ✓ Cuando se rompe una correa de un grupo, las restantes deben ser capaces de transmitir la carga temporalmente.
- ✓ Al momento del recambio, todas las correas deben ser reemplazadas.

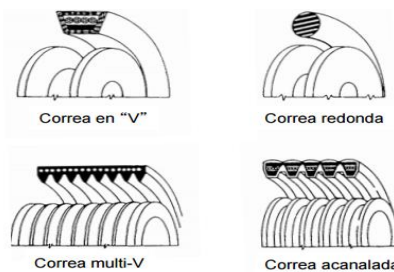


Figura 19: Bandas en V
Fuente: (Mecanismos y Circuitos, 2012)

2.6.2. Sistema de transmisión por engranajes

Una transmisión es un mecanismo formado por dos ruedas dentadas que giran alrededor de unos ejes cuya posición relativa es fija. En toda transmisión son necesarias dos ruedas dentadas, el de mayor número de dientes se llama engranaje, y la de menor número de dientes se llama piñón.

Las transmisiones por engranajes son mecanismos que se utilizan para la transformación de velocidades tanto en magnitud como en dirección.

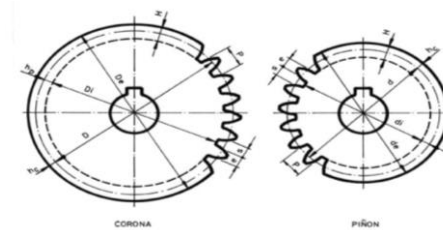


Figura 20: Engranaje y piñón
Fuente: (Mecanismos de Transmisión, 2011)

Los engranajes constituyen uno de los mejores medios disponibles para transmitir movimiento, cuando en las maquinas la transmisión de potencia se hace de un eje a otro paralelo cercano a él.

Entre los diferentes tipos de engranajes son los cilíndricos de dientes rectos los más usuales, los cuales se caracterizan porque son ruedas dentadas cuyos dientes son rectos y paralelos al eje del árbol. Es importante destacar que la gran variedad de las transmisiones con engranajes va acompañada de un diseño, un análisis, y una fabricación complejos, que es preciso conocer.

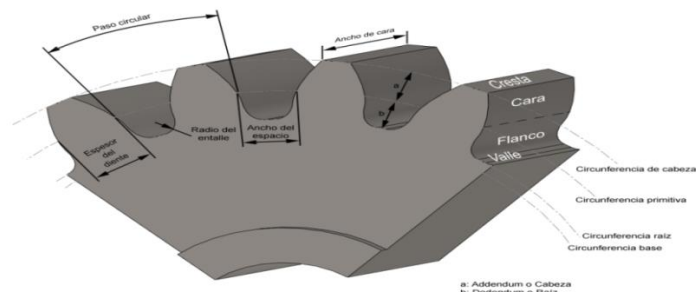


Figura 21: Nomenclatura de un engranaje
Fuente: (Mecanismos de Transmisión, 2011)

Un parámetro fundamental de diseño de estos mecanismos es el índice de reducción. Se denomina índice de reducción a la relación entre la velocidad de la rueda conductora (n_1) y la velocidad de la rueda conducida (n_2) por lo que [1]:

$$m_g = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

A continuación se detallaran los tipos de engranajes:

- a. Engranajes helicoidales: Son aquellos en donde se forma un Angulo entre el recorrido del diente y el eje axial, con el fin de asegurar una entrada progresiva del contacto entre diente y diente. En estos engranajes se reduce el ruido y se aumenta la resistencia de los dientes.
- b. Engranajes rectos: Es el engranaje donde la sección de corte se mantiene constante con respecto al eje axial. Es el engranaje más sencillo de fabricar y el más antiguo.
- c. Engranajes cónicos: Se fabrican a partir de un trozo de cono, formando los dientes por fresado de su superficie exterior. Los dientes pueden ser rectos, helicoidales o curvos. Esta familia de engranajes soluciona la transmisión entre ejes que se cortan y que se cruzan

2.7.Tornillo sin fin

El tornillo sin fin es uno de los aparatos más antiguos para transportar materiales que conoce la humanidad. Una ventaja de este tipo de transportadores sobre otros es el número de alimentaciones y descarga a lo largo de su recorrido, esta cualidad le permite receptor y entregar materiales al granel en diversas localidades dentro de la industria a la que sirve.

Los componentes del transportador sin fin se detallan en la siguiente figura.

2.7.1. Principio de funcionamiento

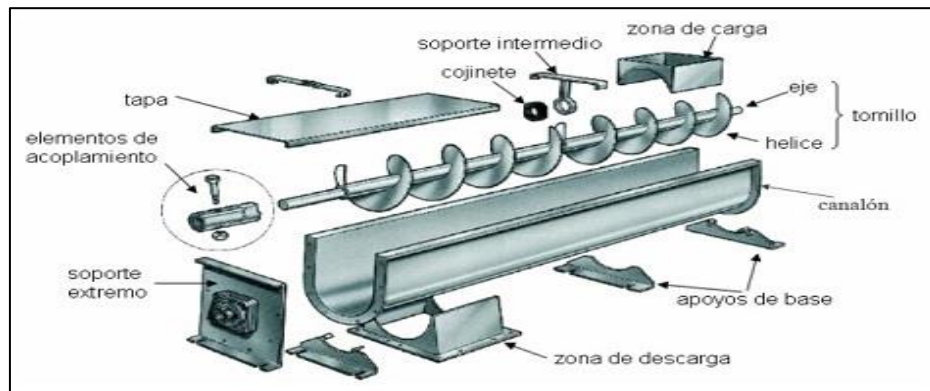


Figura 22: Transportador Sin Fin

Fuente: (Catálogo 4000, Sprocket & Gear INC.; Martin)

Una cantidad de material es cargado en el punto A (figura 22) de entrada a una artesa o recipiente y a medida que el sinfín gira el material avanza linealmente hacia el punto B de descarga, ocupando un volumen dentro de la artesa durante el transporte. El material es empujado por acción del sinfín, produciéndose el flujo del material a través del interior de la artesa. El sinfín gira debido a la potencia de un motor eléctrico o mecánico, transmitida por una cadena, banda o moto reductor conectado al eje.

2.7.2. Clasificación

Los transportadores de tornillo sinfín se clasifican según el paso en:



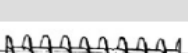

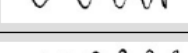
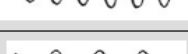


Tipo de Hélice	Tipo de Material para Transportar / Aplicación	Figura
Hélice continua, de paso igual al diámetro	Tipo de hélice normal para transporte de sólidos	
Hélice de gran paso, de 1,5 a 2 veces el diámetro	Se utiliza para productos que fluyen muy bien	
Hélice de pequeño paso, normalmente la mitad del diámetro	Se utiliza en tornillos sin fin inclinados hasta unos 20-25°, o cuando se quiere un prolongado tiempo de permanencia del producto en el transportador con el objeto de enfriarlo, secarlo, etc.	
Hélice de paso variable	Utilizado para compresión de productos, como es el caso de las prensas de tornillo.	
Hélice de diámetro variable	Se utiliza como extractor dosificador de sólidos de tolvas.	
Hélice de cinta	Tipo de hélice adecuada para productos que producen atascamiento.	
Hélice mezcladora, con dos hélices tipo cinta, uno a derecha y otro a izquierda	Se utiliza como equipo mezclador	
Hélice mezcladora, con eje provisto de paletas	Se utiliza como equipo mezclador	

Figura 23: clasificación de sinfín

Fuente: (Catálogo 4000, Sprocket & Gear INC.; Martin)

2.7.3. Tipos de materiales

- Clase I: Los materiales de clase I son principalmente materiales pulverulentos, no abrasivos, que tienen un peso específico que se sitúa entre $0,4 - 0,7 \text{ Tn/m}^3$ aproximadamente, y que fluyen fácilmente (cebada, trigo, malta, arroz, harina de trigo, carbón en polvo, etc).
- Clase II: son materiales que se presentan en granos o pequeños tamaños, mezclados en polvo, son de naturaleza no abrasiva, que fluyen fácilmente. Su peso se sitúa entre $0,6 - 0,8 \text{ Tn/m}^3$ (alumbre en polvo, granos de café, maíz, carbón de hulla, etc)
- Clase III: son materiales semi-abrasivos de pequeño tamaño, mezclados con polvos, con peso específico que se sitúa entre $0,6 - 1,2 \text{ Tn/m}^3$ (alumbre de terrones, bórax, carbón vegetal, sal, leche en polvo, almidón, etc.)
- Clase IV: son materiales semi-abrasivos o abrasivos, granulares o pequeños tamaños en mezcla con polvos. Son materiales con un peso específico entre $0,8 - 1,6 \text{ Tn/m}^3$ (bauxita en polvo, harina de huesos, cemento, arcilla, azufre, arena, etc.)

- Clase V: son materiales abrasivos, troceados o en polvo, como pueden ser cenizas, hollines de conductos de humos, cuarzo pulverizado, arena silíceas. No es recomendable utilizar transportadores de tornillo sin fin para transportar esta clase de material.

2.7.4. Potencia requerida

La potencia requerida para operar un transportador helicoidal se basa en una instalación adecuada, en una alimentación regular y uniforme del material al transportador. Esta potencia es la suma de la potencia necesaria para vencer la fricción (HP_f) y la potencia necesaria para mover el material dentro del transportador a la capacidad específica (HP_m) multiplicada por el factor de sobrecarga F_o y dividido entre la eficiencia total de la transmisión (e) (Catálogo 4000, Sprocket & Gear INC.; Martin)

$$HP_f = \frac{LNF_d f_b}{1\,000\,000}$$

$$HP_m = \frac{CLWF_f F_m F_p}{1\,000\,000}$$

$$HP_{total} = \frac{(HP_f + HP_m)F_o}{e}$$

Donde:

L = longitud total del transportador, en pies

N = velocidad de operación, RPM

F_d = factor de diámetro del transportador (tabla 1.12)

f_b = factor del buje para colgante (tabla 1.13)

C = capacidad en pies cúbicos por hora

W = densidad del material en libras por pie cúbico

F_f = factor de helicoidal (tabla 1.14)

F_m = factor de material (tabla 1.2)

F_p = factor de las paletas (cuando se requieran) (tabla 1.15)

F_o = factor de sobrecarga (tabla 1.16)

e = eficiencia de la transmisión (tabla 1.17)

2.8.Sistema de control automático

2.8.1. Control automático

El control automático es el mantenimiento de un valor deseado dentro de una cantidad o condición, midiendo el valor existente, comparándolo con el valor deseado y utilizando la diferencia para proceder a reducirla. (Bolton, 2006)

2.8.2. Sistema de control

Un sistema de control es el ordenamiento de componentes físicos conectados de tal manera que se pueda comandar, dirigir o regularse a sí mismo a otro sistema.

2.8.2.1.Sistema de control de lazo abierto

Los sistemas de control de lazo abierto son aquellos en el que la señal de salida no influye sobre la señal de entrada. Estos sistemas ejecutan acciones con exactitud determinada por su calibración. Esta calibración establece o restablece una relación entre la entrada y la salida con el fin de obtener del sistema la exactitud deseada. (Bolton, 2006)

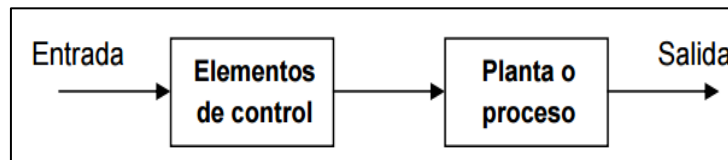


Figura 24: lazo abierto

Fuente: (Ingeniería de Control, 2006; Bolton)

2.8.2.2.Sistema de control de lazo cerrado

Un sistema de control de lazo cerrado, es aquel en el que la acción de control es dependiente de la salida. La señal de salida influye en la entrada. Para esto es necesario, que la entrada sea modificada en cada instante en función de salida. Esto se consigue por medio de una realimentación o retroalimentación. (Bolton, 2006)

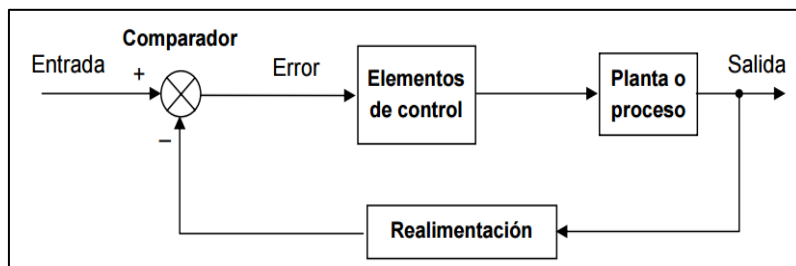


Figura 25: Lazo cerrado

Fuente: (Ingeniería de Control, 2006; Bolton)

2.8.2.3.Realimentación

La realimentación es la propiedad de un sistema en lazo cerrado en la que la salida se compara con la entrada del sistema, y la diferencia que existe entre la entrada, que es la señal de referencia (señal de mando), y el valor de la salida (señal realimentada), se conoce como error o señal de error.

2.8.3. Elementos de control

El regulador o controlador es el elemento que determina el comportamiento del lazo de control, por lo que debe ser un componente diseñado con gran precisión, mientras que la variable controlada se mantenga en el valor previsto, el regulador no actuara sobre el elemento accionador, pero si el valor de la variable se aleja del prefijado, el regulador modifica su señal, ordenando al accionador que actúe sobre la planta o proceso, en el sentido de corregir dicho alejamiento. (Bolton, 2006)

2.8.4. Automatización

Con la automatización del sistema se consigue sustituir los operadores humanos por un conjunto de elementos tecnológicos que permitan un proceso más rápido y eficiente. El sistema automático supone siempre la existencia de una fuente de energía para poder mover o no los mecanismos independientes entre sí, que hacen parte del mismo sistema de automatización de unas piezas de mando, las cuales ordenan el ciclo que debe realizar el sistema y otras partes de trabajos que lo ejecutan. (Bolton, 2006)

2.8.5. Dispositivos de control

2.8.5.1.PID (controlador proporcional integral derivativo)

Los controladores PID son ampliamente usados en los sistemas de control industrial, se aplican a la mayoría de los sistemas de control, pero se aprecia más su utilidad cuando el modelo de la planta a controlar no se conoce y los métodos analíticos no pueden ser empleados. Se le conoce como controlador de tres términos, porque aprovecha las características de tres acciones (Bolton, 2006):

- **Acción proporcional:** esta acción de control es el más simple de todos los tipos de control y consiste en amplificar la señal de error antes de aplicarla a la planta o proceso, es decir, si la señal de error es grande el valor de la variable regulada es grande, y si la señal de error es pequeña el valor de la variable regulada es pequeña.

- Acción integral: disminuye y elimina el error en estado estable. Este tipo de control actúa cuando hay una desviación entre la variable y el punto de consigna, integrando esta desviación en el tiempo.
- Acción derivativa: genera una señal que es directamente proporcional a la derivada del error. La señal de control que se genera es proporcional a la pendiente del error, por tanto tiende a anticiparse a este y minimizar las variaciones.

2.8.5.2.PLC

Un controlador lógico programable (PLC) es un microprocesador para uso en control general que emplea memoria programable para almacenar instrucciones e implementar funciones lógicas, de secuencia, de temporización, de conteo y aritméticas. El PLC se programa de modo que el programa de control puede ingresar mediante un lenguaje sencillo, en general de la forma de programas de escalera. Para modificar el programa de control, el operador solo necesita alterar el programa de escalera. (Bolton, 2006)

La figura ilustra la forma básica de un sistema de PLC.

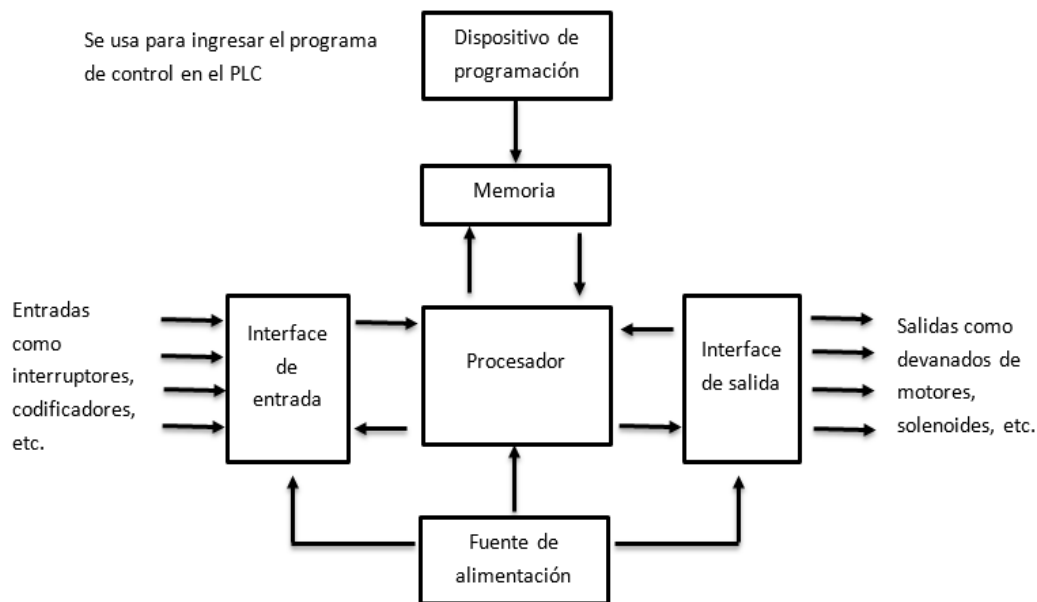


Figura 26: diagrama PLC
Fuene: (Ingeniería de Control, 2006)

En programas de PLC es común usar diagramas de escalera, cada escalón en la escalera define una operación y se lee de izquierda a derecha, los escalones en la escalera se leen de arriba hacia abajo. Cada escalón debe iniciar con una entrada o entradas y terminar al menos con una salida

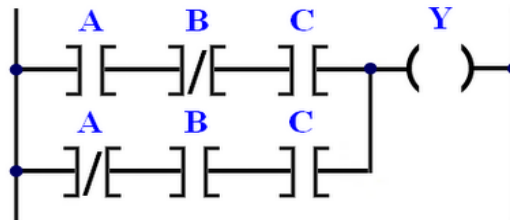


Figura 27: diagrama escalera
Fuente: (Ingenieria de Control, 2006)

2.8.6. Equipos para el sistema de control del proceso automático

2.8.6.1. Variador de velocidad

Es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna, por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor. Los variadores de velocidad son también conocidos como inversores y resuelven el problema de poder usar los motores a velocidad variables sin disminuir mayormente su eficiencia.



Figura 28: variador de velocidad
Fuente: (Catalogo de precios, 2015)

2.8.6.2. Sensor de nivel

El sensor de nivel es un dispositivo electrónico que mide la altura del material, generalmente líquido, dentro de un tanque u otro recipiente. Estos se dividen en dos tipos principales: los sensores de nivel de punto se utilizan para marcar una altura de un líquido en determinado nivel preestablecido, funcionan como alarma indicando un sobre llenado cuando el nivel determinado ha sido adquirido, o una alarma de nivel bajo.

Los sensores de nivel continuo son más sofisticados y pueden realizar el seguimiento del nivel de todo un sistema, estos miden el nivel del fluido dentro de un rango especificado, en lugar de en un único punto, Produciendo una salida analógica que se correlaciona directamente con el nivel en el recipiente.



Figura 29: sensor de nivel
Fuente: (Catalogo de precios, 2015)

2.8.6.3.Sensor de velocidad (inductivo de movimiento)

Los sensores inductivos se utilizan para medir velocidades de rotación o detectar la posición angular de un determinado elemento, está formado por:

- Un imán permanente
- Una bobina envolviendo el imán permanente, de cuyos extremos se obtiene la tensión.
- Una pieza de material ferro magnético que se coloca en el elemento en movimiento y sirve para detectar su paso cerca del sensor, esta pieza puede tener varios dientes formando una corona.

Este sensor se conecta a través de dos cables que son los extremos de la bobina. Si la tensión que debe medirse es muy pequeña se protegen los cables con una malla metálica para evitar interferencias de otros sistemas eléctricos.



Figura 30: sensor de velocidad
Fuente: (Catalogo de precios, 2015)

III. REDISEÑO DEL MOLINO DE MARTILLOS DE LA EMPRESA MOLINO'S SAN ANTONIO DE PADUA S.A.C

3.1. Metodología

El proyecto se basa en el proceso del maíz en la empresa Molino's San Antonio de Padua, el cual es un producto muy comercializado y requerido por muchos, es por eso que se parte del diseño de la máquina trituradora de este grano, aplicando una investigación exploratoria para el entendimiento de su funcionamiento e identificación de diferentes problemas que afecten a la producción del maíz.

El tipo de investigación que se realizará es de nivel descriptivo, basándose en el modelo de Jhosep french, el cual utiliza cuatro fases para el diseño. El proyecto también se basara en diagramas morfológicos en el proceso de diseño, teniendo como propósito la búsqueda de nuevas soluciones a partir de diferentes alternativas de diseño y llegar a una muy factible.

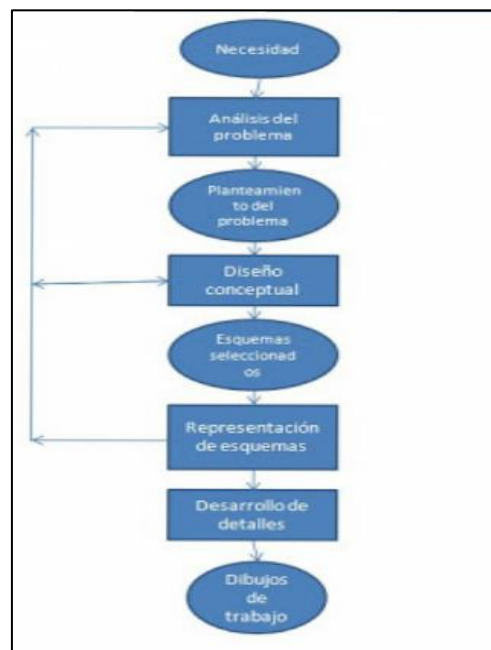


Figura 31: modelo de Jhosep French

- **Fase 1:** análisis del problema. En esta fase se recolecta información sobre la situación actual del molino de martillos de la empresa, identificando los parámetros que presenten problemas para el proceso del maíz.

- **Fase 2:** diseño conceptual. Una vez recopilado la información de los problemas presentes en la máquina, se empezara a realizar diagramas o matrices morfológicas para elegir soluciones factibles que nos permitan mejorar la máquina, estas matrices se realizan mediante conceptos y evaluaciones ponderadas de cada parámetro.
- **Fase 3:** diseño de ingeniería. En esta etapa se desarrolla con mayor detalle y se hacen los cálculos necesarios de los parámetros seleccionados y factibles para la solución de los problemas.
- **Fase 4:** diseño de detalle. Finalmente se realizan planos de los parámetros calculados, y se detalla con precisión toda la información necesaria de los componentes nuevos de la máquina.

3.2.Situación actual del molino de martillos

El proceso de la producción de maíz amarillo duro empieza desde el almacenamiento del producto hasta terminar en el envasado. El diagrama de flujo del proceso de maíz se presenta en el Anexo 1, presenta un diagrama de flujo, paso a paso de todos los procesos del maíz amarillo. También identifica donde se origina la realización de este proyecto, es decir, el proceso del molino de martillos.

3.3.Descripción del proceso de maíz en la empresa “Molino’s San Antonio de Padua S.A.C”

El producto llega sacos de 50 kg y se almacena en un pozo grande, luego por medio de un elevador va a una zaranda pre-limpiadora. El maíz entra a un primer molino de martillos, este lo tritura en 3 partes y se deposita en un pozo subterráneo.

Por medio de otro elevador, el maíz va a una zaranda vaivén, la cual a su vez clasifica el producto en dos clases: 1° maíz mediano, 2° maíz refinado; quedando el maíz partido que luego baja a una gravimétrica para limpiarla por segunda vez y eliminar las impurezas.

Luego va a otro pozo de almacenamiento, y al mismo tiempo pasa a un tercer elevador, el cual eleva el maíz hasta llegar a un molino de martillos (estudio), para ser triturado mediante 36 martillos. Por último, el producto triturado se eleva por un cuarto elevador, y baja a su vez a una clasificadora, la misma que clasifica en los siguientes tamaños: $\frac{3}{4}$

(partido), $\frac{1}{2}$ (mediano), $\frac{3}{8}$ (refinado). Finalmente se envasa en sacos de 50 kg y se almacena para su venta.

3.4.Molino de martillos actual

Después de ver el diagrama de flujo (Anexo 1) e identificar el proceso de estudio del molino de martillos en la empresa “Molino´s San Antonio de Padua S.A.C”, notamos que es una máquina ortodoxa, es decir, de fabricación cacaera, por lo que se ha tenido que realizar las mediciones correspondientes. En las figuras siguientes, se muestran el molino actual de la empresa y sus componentes.



Figura 32: Armazón del molino de martillos

Fuente: Empresa Molino´s San Antonio de Padua S.A.C.



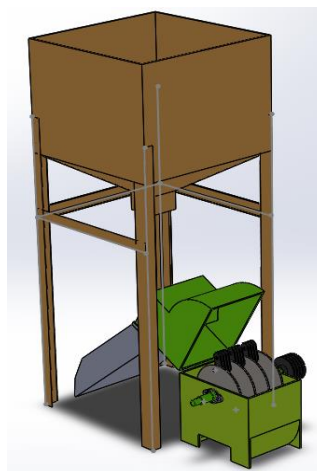
Figura 33: Parte interna del molino de martillos

Fuente: Empresa Molino's San Antonio de Padua S.A.C.



*Figura 34: Tolva de alimentación y motor de 25HP
Fuente: Empresa Molino's San Antonio de Padua S.A.C.*

También se realizó el CAD utilizando el programa SolidWorks para cada uno de los componentes principales del molino de martillos: tolva de alimentación, armazón, eje principal, discos, martillos, ejes porta martillos, etc. Como se muestran en las siguientes figuras.



*Figura 35: molino de martillos y tolva
Fuente: (SOLIDWORKS, 2016)*

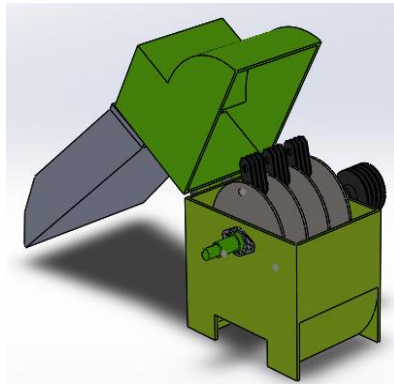


Figura 36: Molino de martillos
Fuente: (SOLIDWORKS, 2016)

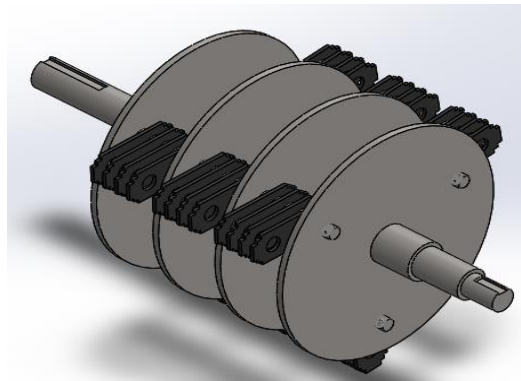


Figura 37: Eje de molino de martillos
Fuente: (SOLIDWORKS, 2016)

3.4.1. Características del molino de martillos

En la siguiente tabla, se muestra las características del molino de martillos, así como también sus dimensiones y tipos de material que utilizan cada uno de los componentes de la máquina. El tipo de motor que utiliza la máquina es un motor trifásico de 25 HP (18650 W), 1760 rpm y un peso de 170 kg, según datos de la empresa.

Tabla 7: Características del molino de martillos actual

PIEZA	CANTIDAD	MATERIAL	DIMENSIONES
EJE	1	AISI 1020	$\phi_1 = 4 \text{ cm}, \phi_2 = 3 \text{ cm},$ $L = 65 \text{ cm}$
DISCO	4	AISI 1020	$\phi_e = 30 \text{ cm}, \phi_i = 5 \text{ cm},$ $\phi_o = 1,25 \text{ cm}, e = 0,8 \text{ cm}$
EJE SECUNDARIO	3	AISI 1020	$\phi = 1.25 \text{ cm}, L = 27.62 \text{ cm}$
SEPARADOR DE MARTILLOS	45	AISI 1020	$\phi_e = 2,16 \text{ cm}, \phi_i = 1,25 \text{ cm}$ $L = 1,24 \text{ cm}$
MARTILLO ESCALONADO	36	FUNDICION GRIS	$e = 0,45 \text{ cm}, \phi_o = 1,6 \text{ cm}$ $L = 11,2 \text{ cm}$ $a = 4,2 \text{ cm}$
TUERCA	3	AISI 1020	$e = 0,5 \text{ cm}, \phi = 1,25 \text{ cm}$
POLEAS	2	Fundición gris	$\phi_{motor} = 16 \text{ cm}, \phi_{molino}$ $= 14 \text{ cm}$
SEPARADORES DE DISCOS	3	Fundición gris	$e = 8 \text{ cm}, \phi_e = 6 \text{ cm}$ $\phi_i = 5 \text{ cm}$

Fuente: Elaboración propia

3.4.2. Eficiencia

El molino de martillos opera diariamente 8 horas, con la finalidad de tener una producción de 15 toneladas por día, a continuación se mostrara el tiempo de trabajo y cantidad producida de la máquina anualmente. Esto servirá para poder estimar la producción del maíz aumentando la eficiencia en el rediseño que se realizara al molino de martillos.

- Tiempo de trabajo

$$8 \frac{\text{horas}}{\text{dia}} (6 \text{ dias a la semana}) = 2304 \text{ horas/año}$$

- Cantidad producida

$$15 \frac{Tn}{día} (6 \text{ días a la semana}) = 4320 \frac{Tn}{año}$$

3.4.3. Indicador OEE

Para el mejor análisis del proceso de la empresa Molino's San Antonio de Padua S.A.C, se ha considerado al OEE (Overall Equipment Effectiveness) el instrumento necesario ya que mediante su cálculo muestra las principales perdidas en tiempo que posee la organización.

Para ellos se consideró un estudio de 313 días de trabajo anual, del mes de mayo 2018 – abril 2019 basándose en la producción de maíz e identificando diferentes tipos de problemas:

- El tamaño del almacén del molino de martillos es pequeño, y al momento de una sobrecarga se pueden dañar los martillos y la criba, así como también una sobrecorriente en el motor de 25 HP. Esto es debido a que en la empresa entran 25 Tn de maíz y produce 15 Tn, es decir, existe una producción del 60%, donde el 40% es perdida por tiempo de trituración en el molino.
- Los martillos son de material poco resistentes, esto hace que el tiempo de vida útil sea menor debido a las deformaciones y los desgastes sufridos en el momento del impacto con el producto.
- La empresa utiliza tableros con señales digitales, es decir, pulsador de marcha y pulsador de paro, por el cual, cuando existe una sobrecarga de maíz en el molino, se tiene que realizar los ajustes manualmente, ya sea en el nivel de carga y/o en el tablero. Esto también perjudica al motor en cuanto al torque y velocidad.

De acuerdo a los problemas mencionados, se obtuvo datos de todas las paradas, averías, microparadas, rendimientos y calidad en la producción de la empresa Molino's San Antonio de Padua. (Anexo 10)

3.5. Parámetros para el rediseño del molino de martillos

Para el rediseño del molino, se considerara los siguientes parámetros y características

3.5.1. Características de operación del molino

La capacidad actual del molino de martillos es de 15 Tn/día y está en funcionamiento durante 8 horas diarias. Como será un rediseño utilizando doble eje, y se desea aumentar la eficiencia de 10-40% para que logre triturar completamente la cantidad de producto que entra a la planta, para ello es necesario aumentar la capacidad del molino de martillos. Por lo tanto, si se parte de la siguiente conversión de unidades, se puede obtener aproximadamente cuantos granos se deberán triturar por minuto para cumplir la capacidad.

$$15 \frac{Tn}{dia} * \frac{1000 Kg}{1 Tn} * \frac{1000 gr}{1 Kg} * \frac{1 grano}{0,08 gr} * \frac{1 dia}{8 horas} * \frac{1 hora}{60 min} \\ = 0,313 \times 10^5 \frac{granos}{min}$$

La potencia nominal en un molino de martillos se determina mediante la Ley de Bond: “el trabajo necesario es inversamente proporcional a la raíz cuadrada del tamaño producido” (Warren McCabe, pág. 891)

$$W = W_i \left(\frac{100}{L_f} \right)^{0,5} \left(\frac{r^{0,5} - 1}{r^{0,5}} \right)$$

Donde:

W = trabajo (KWh/ton)

Wi = constante energética (Kwh/ton)

Lf = tamaño del producto molido (μm)

Li = tamaño del producto antes de ser molido (μm)

r = Li/Lf coeficiente de desintegración

El cálculo de la constante energética es la siguiente

$$W_i = \frac{44,5 \times 1,1}{(Pi)^{0,23} (g/r)^{0,82} \left[\frac{10}{\sqrt{L_f}} - \frac{10}{\sqrt{L_i}} \right]}$$

Donde:

Pi = abertura de la malla empleada en micras

g/r = gramos por revolución

Luego para la capacidad del molino se toma en cuenta la siguiente ecuación:

$$W = \frac{P}{CP}$$

Donde

W = Trabajo KWh/Tn

P = potencia mecánica (KW)

CP = capacidad de producción (Tn/dia)

3.5.2. Velocidad de rotación del molino

Como se sabe, el molino será de doble eje, esto quiere decir, que cada eje tendrá un cierto número de grupos de martillos en disposición horizontal dependiendo del giro del eje. Por lo tanto, se requiere utilizar un motor que cumpla con las características del rediseño.

Para que un molino de martillos produzca una granulometría fina, los martillos deben girar con una velocidad mínima de 30 m/s, llegando a una óptima de 52 m/s, valores que se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 8: Velocidad de la molienda en trituradoras de martillos

Producto	Velocidad max. (m/s)	Velocidad min (m/s)
Maíz	52	30
Trigo	65	43
Cebada	105	83
Avena	88	93
Afrecho	110	88

Fuente: J. Estrella, B. Fonseca, Tesis [6]

Para este caso la velocidad de rotación tiene que ser alta, ya que se desea triturar más capacidad. La alta velocidad de los ejes lograra que la fuerza del impacto sea alta y alcance a triturar todo el producto. Considerando que el valor recomendado para la velocidad angular de un molino de martillos (sección 2.5.5), oscila entre las 1700 y 3600 rpm, y no se quiere trabajar al límite de revoluciones, por lo que el trabajo del motor será continuo, se eligió un valor intermedio de 1800 rpm.

Si se divide el número de granos por minuto que se necesita triturar, para las 1800 rpm escogidas, se obtiene aproximadamente el número de granos que se deberán partir por cada revolución del eje del motor.

$$\frac{3,9063 \times 10^5 \frac{\text{granos}}{\text{min}}}{1800 \text{ rpm}} = 217 \text{ granos/rev}$$

Con esto tenemos dos datos importantes que son: $\omega = 1800 \text{ rpm}$, el cuál es la velocidad angular del motor, y será útil para la selección del motor eléctrico.

217 granos/rev., es el número aproximado de granos que se deben triturar por cada revolución del motor.

Como son 217 granos que se deben triturar por cada revolución, y el molino actual posee 36 martillos, esto quiere decir que cada martillo triturara 4 granos aproximadamente. De este análisis, se determina el rediseño del molino utilizando doble eje, aumentando la capacidad y el triturado sea proporcional, es decir, se contara con 36 martillos más en otro eje, en total 72 martillos para que cada uno supuestamente triture 2 granos aproximadamente.

3.5.3. Geometría de martillos y discos

La disposición de los martillos en el molino da lugar al nombre de árbol de martillos. El principio fundamental es el impacto sucesivo producido por arboles al pasar el grano desde su tobera de alimentación hacia la zona inferior de la carcasa donde se halla el tamiz o criba.

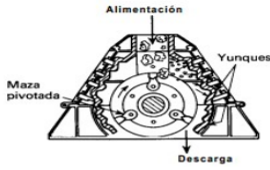
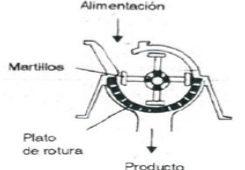
La disposición de los martillos es simétrica tanto en el eje horizontal como en sus dimensiones, esto quiere decir que ambos ejes serán idénticos. También en este caso, se tomara en cuenta las dimensiones de los discos, se reducirá su diámetro de 30 cm a 20 cm, por cuestiones del bastidor, ya que serán dos ejes.

3.5.4. Dimensionamiento del armazón del molino de martillos

Debido a la forma de ingreso del grano y la forma en la que actúan los martillos, es posible que existan partículas que puedan salir despedidas hacia afuera de la máquina a gran velocidad. Esto se podrá evitar mediante el adecuado diseño del sistema de alimentación, con el uso de compuertas que impidan el retorno del grano.

La forma del armazón en las cercanías a la circunferencia del impacto de los martillos, debe diseñarse de forma adecuada para que abarque el sistema de trituración e impida que los granos queden atrapados entre los martillos y el armazón. En la siguiente tabla se detallan alternativas de bastidores con diferente entrada de alimentación, de los cuales podemos tener referencia para el rediseño del bastidor de la maquina actual. La selección se realizara mediante matriz morfológica.

Tabla 9: matriz morfológica de armazón

Aspecto	Ventajas	Desventajas	
Alimentación superior	Mayor capacidad para el producto	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño complejo • Costo 	
Alimentación lateral	Fácil manufactura	Diseño solo para un eje	

Fuente: elaboración propia

3.5.5. Tipo de material de los elementos

El tipo de material es un parámetro muy importante para este proyecto, es por eso que se realizara una selección de un adecuado material, el cual reemplazara al material que utiliza cada uno de los elementos del molino de martillos. Según el funcionamiento de cada elemento de la máquina, se ira realizando el cambio de material de ser necesario, es decir, solo se reemplazaran los materiales que realicen más trabajo y esfuerzo en su funcionamiento, por ejemplo: ejes principales, ejes secundarios, los martillos, engranajes, etc.

Para esta selección del material a utilizar se tomó en cuenta la norma AISI-SAE, el cual utiliza el acero para la fabricación de ejes y árboles, que debido a sus propiedades mecánicas es lo suficientemente fuerte como para soportar los abusos a los que pueda ser sometida la pieza. Las propiedades de cada material a utilizar se indican en el anexo.

Tabla 10: Variedad de acero según norma AISI-SAE

Primera cifra	Tipos de aceros
1	Acero al Carbono
2	Acero al Níquel
3	Acero al Níquel-Cromo
4	Acero al Molibdeno
5	Acero al Cromo
6	Acero al Cromo Vanadio
7	Acero al Tungsteno
8	Acero al Niquel-Cromo-Molibdeno
9	Acero al Silicio-Magnesio

Fuente: Ejes y árboles-Manual de Diseño

3.5.6. Sistemas de transmisión de potencia

Como se sabe que la maquina actual de la empresa utiliza un sistema de trasmisión flexible, es decir, utiliza poleas y correas, se realizara una selección del tipo de sistema de transmisión de potencia, para ver si es necesario realizar un cambio de sistema de transmisión en el rediseño de la máquina. Para ello se utilizara matrices morfológicas tanto, para la transmisión de potencia como el resto de los elementos.

- Matriz morfológica

La matriz morfológica es una serie de cuadros en donde se comparan opciones de diseño para cada una de las diferentes partes de la máquina. En este cuadro se analizan las ventajas y desventajas de cada una de las opciones y se selecciona la mejor de acuerdo a los criterios estudiados en las mismas.

- Matriz de evaluación

Para la selección del parámetro de sistema de transmisión de potencia se desarrolla una matriz de evaluación para cada sistema de transmisión, en esta matriz de se comparan todas las opciones de elementos a seleccionar, y de acuerdo a diversos criterios se les va asignando un valor a cada una de las opciones, dichos valores conceden un puntaje final

a cada una de las opciones, y este puntaje nos permitirá ver claramente que opción conviene más para el rediseño. Para esta matriz se toman en cuenta detalles de fabricación, seguridad, manufacturabilidad, mantenimiento, costos, tamaños, resistencia, peso y funcionalidad de cada pieza, primero dándole una ponderación de acuerdo a las siguientes tablas.

Tabla 11: Criterios de evaluación

CRITERIOS DE EVALUACIÓN		
CRITERIO	VARIABLE	VALOR
MANUFACTURA	Mn	1,5
SEGURIDAD	S	2
MANTENIMIENTO	Mt	1,5
COSTO	C	1
TAMAÑO	T	0,5
PESO	P	0,5
RESISTENCIA	R	2
FUNCIONALIDAD	F	1
TOTAL		10

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12: Ponderaciones

Denominación	Valor
Excelente	5
Muy Bueno	4
Bueno	3
Aceptable	2
Deficiente	1

Fuente: Elaboración propia

3.5.7. Diseño de nuevo sistema de alimentación

Como se sabe el molino actual presenta una tolva de alimentación, el cual esta acoplado a la tapa del almacén y es el que transporta el producto de la tolva al molino de martillos.

De acuerdo a los problemas existentes en la empresa, se desea tener un control en el flujo del producto lo que lleva a diseñar un transportador sin fin como nuevo sistema de alimenta, siendo este un sustituto para la tolva. El transportador sin fin también servirá para el sistema de control, el cual se detallara más adelante. Se consideran las siguientes características para el diseño.

3.6. Selección del nuevo diseño de molino de martillos

3.6.1. Selección de sistema de transmisión de potencia y elementos de máquina

Para el rediseño del molino de martillos de la empresa “Molino’s San Antonio de Padua S.A.C”, se tuvo que realizar un análisis de las características de los componentes de la máquina, para luego seleccionar las más convenientes que nos servirán en el rediseño de dicha máquina.

Por lo tanto, para este nuevo diseño se consideró dos alternativas, que nos permitirá tener una idea clara de la nueva máquina. Para las tablas evaluación se consideraron características aproximadas de las piezas de cada diseño, así como también tipo de material, cantidad, etc.

Tabla 13: Características para el diseño con transmisión de engranajes

PIEZA	CANTIDAD	MATERIAL	DIMENSIONES
EJE	2	AISI 1020	$\phi_1 = 4 \text{ cm}, \phi_2 = 5 \text{ cm},$ $L = 65 \text{ cm}$
DISCO	8	AISI 1020	$\phi_e = 28 \text{ cm}, \phi_i = 5 \text{ cm},$ $\phi_o = 1,25 \text{ cm}, \quad e = 0,8 \text{ cm}$
EJE SECUNDARIO	6	AISI 1020	$\phi = 1,25 \text{ cm}, L = 27,62 \text{ cm}$
SEPARADOR DE MARTILLOS	90	Acero templado	$\phi_e = 2,16 \text{ cm}, \phi_i = 1,25 \text{ cm}$ $L = 1,24 \text{ cm}$
MARTILLO ESCALONADO	72	Acero templado	$e = 0,45 \text{ cm}, \phi_o = 1,96 \text{ cm}$ $L = 10 \text{ cm}$ $a = 4,2 \text{ cm}$
S.T. ENGRANAJE	2	AISI 1020	Diámetro de paso = 16 cm

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura se muestra un bosquejo de cómo será la nueva máquina utilizando las características mencionadas anteriormente del diseño nuevo.

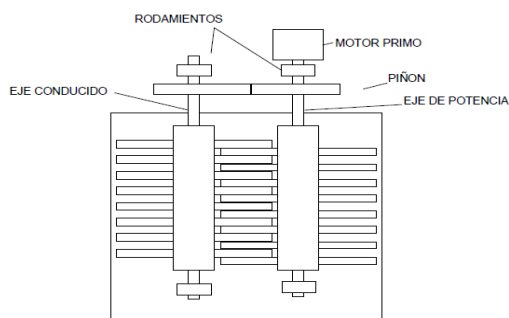


Figura 38: Bosquejo del diseño 1

El molino de martillos cuenta con diferentes partes, cada una de las cuales tienen un funcionamiento totalmente distinto, por esto se decidió realizar una matriz morfológica, identificando las alternativas necesarias para la selección del diseño. En la matriz se

observaran los pros y contras de cada alternativa a seleccionar y de este modo llegar a la mejor opción para nuestro diseño final.

El primer elemento identificado es el eje principal donde abarcara todos los demás elementos: discos, martillos, ejes porta martillos, etc.

Tabla 14: Matriz morfológica de los elementos del molino de martillos

ELEMENTOS DEL MOLINO DE MARTILLOS			
ELEMENTO	ALTERNATIVA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
EJE PRINCIPAL	ESCALONADO	Mejor reacción de empuje axial, fácil manufactura	Costo
	ESTRIADO	Buena transmisión	Costo, manufactura
	LISO	Uso general	Baja transmisión
DISCOS PARA EJE	CIRCULAR	Mejor balanceo	Manufactura
	CUADRADO	Fácil manufactura	Balanceo, mayor fatiga
MARTILLOS DE PERCUSIÓN	ESCALONADO	Mayor resistencia, menor desgaste	Mayor deformación
	RECTANGULAR	Buena resistencia al impacto	Mayor desgaste y deformación
ENGRANAJES	ENGRANAJES RECTOS	Simple fabricación y mantenimiento, bajo costo	Ruidoso
	HELICOIDALES	Funcionamiento suave y silencioso	Costo
POLEAS Y CORREAS	CORREAS EN V	Costo, eficiencia mecánica, silencioso	Tensión en las correas
	CORREAS DENTADAS	Mejor maquinabilidad	Manufactura, Costo

Fuente: Elaboración propia

Para la selección de engranajes se consideraron solamente alternativas como engranajes rectos y engranajes helicoidales, ya que al tener una idea del nuevo diseño de la máquina, esto nos permitirá seleccionar con más precisión.

Las poleas son importantes para la transmisión en el eje, se consideró como alternativas poleas de tipo V y dentadas. Este elemento o pieza es utilizado en la maquina principal de la empresa, por lo que también es considerado en una segunda alternativa de diseño.

Como se vio en la selección del sistema de transmisión de potencia, ya existe una opción más conveniente para la transmisión, la elegida fue transmisión por engranajes.

Se consideró las poleas y correas en esta sección, con la finalidad de realizar la matriz morfológica y la matriz de evaluación en la selección de un diseño más conveniente.

Así mismo, el eje principal y todos sus elementos requieren materiales adecuados para su funcionamiento, por tanto dentro de la lista de materiales se consideraron materiales como aluminio y acero, que son aceptados y avalados por normas para trabajar estos tipos de elementos.

Tabla 15: Matriz morfológica de materiales

MATERIALES PARA ELEMENTOS			
ELEMENTO	ALTERNATIVA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
EJE PRINCIPAL	ALUMINIO	Manufactura	Costo
	ACERO AISI 1020	Mejor maquinabilidad	Esfuerzo
	ACERO AISI 1045	Buena templabilidad	Resistencia
DISCOS PARA EJE	FUNDICIÓN GRIS	Buena maquinabilidad, bajo costo	Baja ductibilidad
	ACERO AISI 1020	Buena templabilidad, durabilidad	Resistencia
MARTILLOS DE PERCUSIÓN	FUNDICIÓN GRIS	Buena maquinabilidad, bajo costo	Baja ductibilidad
	ACERO TEMPLADO	Mayor dureza	Costo
ENGRANAJES	FUNDICIÓN GRIS	Buena maquinabilidad, bajo costo	Baja ductibilidad
	AISI 1020	Alta resistencia, durabilidad	Costo de mantenimiento
POLEAS Y CORREAS	FUNDICIÓN GRIS	Buena maquinabilidad, bajo costo	Baja ductibilidad
	ACERO AISI 1045	Buena templabilidad, durabilidad	Resistencia
EJE SECUNDARIO	ACERO AISI 1045	Buena templabilidad	Resistencia
	ACERO AISI 1020	Mejor maquinabilidad	Esfuerzo

Fuente: Elaboración propia

Finalmente se requiere una matriz de evaluación en donde se encuentren todas las opciones antes mencionadas de las matrices morfológicas, en esta matriz de evaluación se comparan todas las opciones de elementos que se mostraron, y de acuerdo a diversos criterios se les va asignando un valor a cada una de las opciones, dichos valores conceden un puntaje final a cada una de las opciones, y este puntaje nos permitirá ver claramente que opción conviene más para el rediseño. Para esta matriz se toman en cuenta detalles de fabricación, seguridad, manufacturabilidad, mantenimiento, costos, tamaños, resistencia, peso y funcionalidad de cada pieza.

Dentro de la matriz cada opción tendrá una variable y un valor determinado el cual proporcionara según el grado de importancia del elemento. Para esta tabla de evaluación el valor de mínima importancia será 0,5 para dar un valor final de 10, la tabla N°10 muestra los criterios a evaluar.

Las siguientes tablas muestran las matrices morfológicas de cada diseño, con los criterios de evaluación para poder seleccionar las alternativas convenientes.

Tabla 16: Matriz morfológica del diseño con transmisión de engranajes

DISEÑO 1										
ASPECTO	ALTERNATIVAS	CRITERIOS DE EVALUACIÓN								TOTAL
		Mn	S	Mt	C	T	P	R	F	10
EJE PRINCIPAL	Escalonado	1,5	2	1	0,5	0,5	0,5	2	1	10
	estriado	1	1,5	1	0,5	0,5	0,5	1,5	1	7,5
	Liso	1,5	0,5	1,5	1	0,5	0,5	0,75	0,5	6,75
MATERIAL PARA EJE	Aluminio	1,5	1,5	1,5	0,25	0,5	0,3	2	0,5	8,05
	Acero AISI 1020	1	2	1,5	1	0,5	0,1	2	0,5	8,6
	Acero AISI 1045	1	1	1,5	0,5	0,5	0,2	2	0,5	7,2
MARTILLOS	Escalonado	1	1,5	1,5	1	0,5	0,5	2	1	9
	Rectangular	1,5	1	1,5	1	0,5	0,5	1	1	8
MATERIAL MARTILLOS	Fundición gris	1	0,5	1	1	0,5	0,5	1,5	1	7
	Acero templado	1	2	1,5	0,5	0,5	0,2	2	1	8,7
S.T. ENGRANAJE	Rectos	1,5	1,5	1,5	1	0,5	0,5	1	0,2	7,7
	Helicoidales	1	2	1	0,3	0,5	0,3	2	1	8,1
MATERIAL ENGRANAJE	Fundición gris	1	0,5	1	1	0,5	0,5	1,5	1	7
	AISI 1020	1	2	1,5	0,5	0,5	0,5	2	1	9
DISCO PARA EJE	Circular	1	2	1,5	0,3	0,5	0,5	2	1	8,8
	Cuadrado	1,5	1,5	1,5	0,5	0,2	0,5	1	0,5	7,2
MATERIAL PARA DISCO	Fundición gris	1	0,5	1	1	0,5	0,5	1,5	1	7
	Acero AISI 1045	1	1	1,5	0,5	0,5	0,2	2	0,5	7,2
MATERIAL EJE SECUNDARIO	Acero AISI 1045	1	1	1,5	0,5	0,5	0,2	2	0,5	7,2
	Acero AISI 1020	1	2	1,5	1	0,5	0,1	2	0,5	8,6

Fuente: Elaboración propia

Lo misma evaluación se realizó para un segundo diseño como alternativa

Tabla 17: Matriz morfológica del diseño transmisión flexible

DISEÑO 2										
ASPECTO	ALTERNATIVAS	CRITERIOS DE EVALUACIÓN								TOTAL
		Mn	S	Mt	C	T	P	R	F	10
EJE PRINCIPAL	escalonado	1,5	2	1	0,5	0,5	0,5	2	1	10
	estriado	1	1,5	1	0,5	0,5	0,5	1,5	1	7,5
	liso	1,5	0,5	1,5	1	0,5	0,5	0,75	0,5	6,75
MATERIAL PARA EJE	aluminio	1,5	1,5	0,5	0,1	0,5	0,1	2	0,5	6,7
	acero AISI 1020	1	2	1,5	1	0,5	0,1	2	0,5	8,6
	acero AISI 1045	1	1	1,5	0,5	0,5	0,2	2	0,5	7,2
MARTILLOS	escalonado	1	1,5	1,5	1	0,5	0,5	2	1	9
	rectangular	1,5	1	1,5	1	0,5	0,5	1	1	8
MATERIAL MARTILLOS	fundición gris	1	0,5	1	1	0,5	0,5	1,5	1	7
	acero templado	1	2	1,5	0,5	0,5	0,2	2	1	8,7
S.T. POLEAS Y BANDAS	tipo v	1,5	1,5	1,5	1	0,5	0,5	1,5	0,5	8,5
	dentadas	1	1,5	1	0,5	0,5	0,5	2	1	8
MATERIAL PARA POLEAS	fundición gris	1	0,5	1	1	0,5	0,5	1,5	1	7
	aluminio	1,5	1,5	0,5	0,1	0,5	0,1	2	0,5	6,7
DISCO PARA EJE	circular	1	2	1,5	0,3	0,5	0,5	2	1	8,8
	cuadrado	1,5	1,5	1,5	0,5	0,2	0,5	1	0,5	7,2
MATERIAL PARA DISCO	fundición gris	1	0,5	1	1	0,5	0,5	1,5	1	7
	acero AISI 1045	1	1	1,5	0,5	0,5	0,2	2	0,5	7,2
MATERIAL EJE SECUNDARIO	acero AISI 1045	1	1	1,5	0,5	0,5	0,2	2	0,5	7,2
	acero AISI 1020	1	2	1,5	1	0,5	0,1	2	0,5	8,6

Fuente: Elaboración propia

Analizando las opciones de mayor valor tenemos una idea más clara de lo que será el diseño final de cada diseño y sus componentes principales.

Luego de haber analizado las opciones y elegido la de mayor valor de cada diseño, procederemos a realizar una matriz morfológica final donde relacionaremos los elementos seleccionados con criterios de evaluación de cada diseño determinados por una ponderación de 1 si es deficiente, y 5 si es excelente (Tabla N°11)

Tabla 18: Criterios de evaluación de cada diseño

CRITERIO	DISEÑO 1	DISEÑO 2
MANUFACTURA	5	5
SEGURIDAD	4	3
MANTENIMIENTO	4	5
COSTO	3	3
TAMAÑO	4	4
PESO	5	4
RESISTENCIA	5	5
FUNCIONALIDAD	5	5
TOTAL	35	34

Fuente: Elaboración propia

Para seleccionar el diseño más conveniente, se debe realizar una multiplicación del valor de cada elemento con la ponderación asignada a cada diseño.

Las siguientes tablas muestran la relación de los elementos seleccionados con los criterios de evaluación de cada diseño.

Tabla 19: Matriz de evaluación del diseño con T. de engranajes

DISEÑO 1									
ASPECTO	CRITERIOS DE EVALUACIÓN								TOTAL
	Mn	S	Mt	C	T	P	R	F	
EJE PRINCIPAL	7,5	8	4	1,5	2	2,5	10	5	40,5
MATERIAL PARA EJE	5	8	6	3	2	0,5	10	2,5	37
MARTILLOS	5	6	6	3	2	2,5	10	5	39,5
MATERIAL MARTILLOS	5	8	6	1,5	2	1	10	5	38,5
ENGRANAJE	5	8	4	0,9	2	1,5	10	5	36,4
MATERIAL ENGRANAJE	5	8	6	1,5	2	2,5	10	5	40
DISCO PARA EJE	5	8	6	0,9	2	2,5	10	5	39,4
MATERIAL PARA DISCO	5	4	6	1,5	2,5	1	10	2,5	32,5
MATERIAL EJE SECUNDARIO	5	8	6	3	2	0,5	10	2,5	37
TOTAL									340,8

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20: matriz de evaluación del diseño con T. flexible

DISEÑO 2									
ASPECTO	CRITERIOS DE EVALUACIÓN								TOTAL
	Mn	S	Mt	C	T	P	R	F	
EJE PRINCIPAL	7,5	6	5	1,5	2	2	10	5	39
MATERIAL PARA EJE	5	6	7,5	3	2	0,4	10	2,5	36,4
MARTILLOS	5	4,5	7,5	3	2	2	10	5	39
MATERIAL MANRTILLOS	5	6	7,5	1,5	2	0,8	10	5	37,8
POLEAS	7,5	4,5	7,5	3	2	2	7,5	2,5	36,5
MATERIAL PARA POLEAS	5	1,5	5	3	2	2	7,5	5	31
DISCO PARA EJE	5	6	7,5	0,9	2	2	10	5	38,4
MATERIAL PARA DISCO	5	3	7,5	1,5	2	0,8	10	2,5	32,3
MATERIAL EJE SECUNDARIO	5	6	7,5	3	2	0,4	10	2,5	36,4
TOTAL									326,8

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar que el diseño 1 obtiene un total de 340,8 de puntaje, mayor que el diseño 2 que obtuvo un puntaje de 326,8. Esto significa que hemos llegado a la conclusión que el diseño 1 es el más conveniente para empezar a realizar el rediseño del molino de martillos de la empresa. Se utilizara un sistema de transmisión por engranajes, las características y cálculos se muestran más adelante.

3.6.2. Selección de armazón para el molino de martillos

Para la selección del armazón se considera la tabla de ventajas y desventajas de alternativas y según el tipo de alimentación para llegar a un diseño final. Este armazón

debe ser diseñado de acuerdo a las características del molino de martillos, en este caso el diseño seleccionado en la sección anterior.

Con la tabla N°11, se evalúa cada alternativa como se muestra en la siguiente tabla

Tabla 21: Matriz morfológica del armazón

ALTERNATIVAS	CRITERIOS DE EVALUACIÓN								TOTAL
	Mn	S	Mt	C	T	P	R	F	
ALIMENTACION SUPEERIOR	1	1,5	1	0,5	0,5	0,2	2	1	7,7
ALIMENTACION LATERAL	1	1	1	1	0,1	0,5	2	1	7,6

Fuente: elaboración propia

Luego evaluaremos de acuerdo a la tabla N°12, para obtener la alternativa conveniente

Tabla 22: Matriz de evaluación del armazón

ALTERNATIVAS	CRITERIOS DE EVALUACIÓN								TOTAL
	Mn	S	Mt	C	T	P	R	F	
ALIMENTACION SUPEERIOR	5	6	4	1	2,5	1	10	5	34,5
ALIMENTACION LATERAL	5	4	5	2	0,3	2	10	5	33,3

Fuente: elaboración propia

Finalmente llegamos a la selección de la alternativa 1, armazón con alimentador superior, es la más conveniente porque se tendrá dos ejes y ambos deben triturar el maíz equivalentemente para que se logre una uniformidad del producto.

3.6.3. Selección de motor eléctrico

Para la selección del motor eléctrico se considera la tabla de ventajas y desventajas de alternativas y según su potencia para llegar a un diseño final. Como se vio en la sección (3.5.2), el motor debe cumplir con las expectativas del molino, tanto en capacidad como en velocidad de trituración o molienda.

Con la tabla N°11, se evalúa cada alternativa como se muestra en la siguiente tabla

Tabla 23 Matriz morfológica del motor eléctrico

SELECCIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO PARA MOLINO									
ALTERNATIVAS	CRITERIOS DE EVALUACIÓN								TOTAL
	Mn	S	Mt	C	T	P	R	F	
MOTOR ABB	1	2	1	0,2	0,5	0,3	2	1	8
MOTOR WEG	1,5	1	1,5	1	0,5	0,4	1	0,7	7,6

Fuente: elaboración propia

Luego evaluaremos de acuerdo a la tabla N°12, para obtener la alternativa conveniente

Tabla 24 Matriz de evaluación del motor eléctrico

SELECCIÓN DEL TIPO DE SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA									
ALTERNATIVAS	CRITERIOS DE EVALUACIÓN								TOTAL
	Mn	S	Mt	C	T	P	R	F	
MOTOR ABB	5	8	3	0,6	2,5	1,2	8	5	33,3
MOTOR WEG	7,5	4	7,5	4	1,5	1,2	3	2,1	30,8

Fuente: elaboración propia

Se llega a la selección final de la alternativa 1, se utilizará un motor ABB ya que comparado con el motor actual del molino, es mucho mejor en calidad y rendimiento.

IV. Resultados y cálculos justificativos

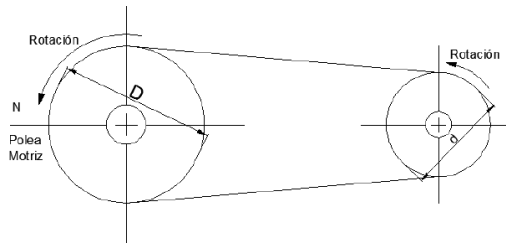
4.1. Análisis del diseño de los parámetros del molino de martillos actual

Para el cálculo de los elementos de la máquina de la empresa, se toma en cuenta las características de la tabla N° 7

4.1.1. Análisis del sistema de transmisión flexible (banda-polea)

Para el análisis del sistema de transmisión, por dato de la empresa se tiene lo siguiente:

- Potencia del motor: $P_m = 25 \text{ HP}$, 1760 rpm
- Diámetros de poleas: $\phi_{motor} = 16 \text{ cm}$, $\phi_{molino} = 14 \text{ cm}$
- 3 Bandas en V tipo A26
- Distancia entre centro: 70 cm



Se calcula la velocidad de angular de la polea menor, con la siguiente ecuación:

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{d}{D}$$

$$\omega_2 = \frac{D\omega_1}{d} = \frac{16 * 1760}{14} = 2011 \text{ rpm}$$

- Relación de transmisión:

$$i = \frac{2011}{1760} = 1,14$$

- Torque presente en la polea menor

$$T = \frac{P_m}{\omega_2} = \frac{25 * 746}{2011} = 9,3 \text{ N.m}$$

La polea que utiliza el molino actual es de material hierro fundido gris con densidad de 7200 Kg/m³.

4.1.2. Análisis de los martillos

El diseño de los martillos está en función de algunos factores como: velocidad del rotor, el tipo de producto a triturar. En este caso tomando en cuenta que el maíz representa el 60% del alimento que se triturara.

Cuando se describe el movimiento de un cuerpo en un sistema de referencia en rotación aparece la fuerza centrífuga, la misma que tiende a que el objeto se aleje del centro de rotación, en el caso de los martillos es la fuerza centrífuga la que los coloca en posición de trabajo.

4.1.2.1. Velocidades tangenciales del martillo

Se calcula la velocidad tangencial con respecto al radio de giro del martillo, para ello se tiene que saber la velocidad angular ω , la cual es igual a la velocidad angular de vacío ω_v .

$$\omega_v = 2011 \text{ rpm} = 210,6 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

La velocidad angular está en función de la velocidad tangencial y el radio de giro. Por datos obtenidos de la maquina actual, se determina el radio de giro como se muestra en la siguiente figura.

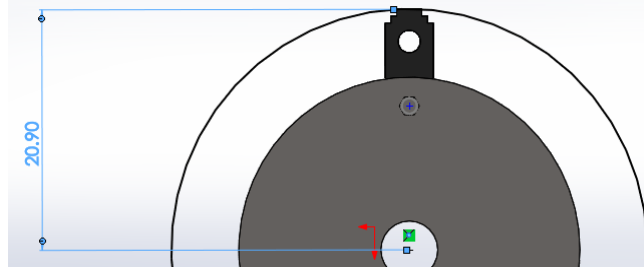


Figura 39: Radio de Giro
Fuente: (SOLIDWORKS, 2016)

Tenemos un radio de giro de 20,9 cm, por lo tanto, la velocidad tangencial se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$v_t = r_g * \omega_v$$

$$v_t = 0,209 \text{ m} * 210,6 \text{ rad/s} = 44 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

La velocidad obtenida es la velocidad tangencial del martillo, que la denominaremos v_v (velocidad al vacío, o sin carga).

Al momento de la trituración o molienda, cuando el grano choca con el martillo se produce una disminución en la velocidad del mismo, por lo que existe una velocidad que será menor a la velocidad de vacío, que se le denominara v_c (velocidad con carga). Para el cálculo de v_c , se analiza el conjunto moedor (martillos, discos, ejes y demás componentes) como un volante. En proyectos donde se utiliza volantes se considera un coeficiente de fluctuación, definido en la siguiente ecuación

- Coeficiente de fluctuación

$$C_s = \frac{v_t - v_c}{V}$$

Donde:

V = velocidad tangencial del volante (velocidad media), por lo tanto

$$V = \frac{v_t - v_c}{2}$$

<i>Tipo de máquina</i>	<i>C_f</i>
Maquinaria de machaqueo	0,200
Maquinaria eléctrica	0,003
Maquinaria eléctrica, transmisión directa	0,002
Motores con transmisión por correas	0,030
Maquinaria para molinos harineros	0,020
Transmisión rueda dentada	0,020
Martillos	0,200
Máquinas herramientas	0,030
Maquinaria para fabricación de papel	0,025
Bombas	0,030-0,050
Maquinaria de corte	0,030-0,050
Maquinaria de hilanderías	0,010-0,020
Maquinaria textil	0,025

Figura 40: Velocidad Tangencial

Fuente: (Operaciones unitarias en Ingeniería Química; Warren McCabe)

Reemplazamos la ecuación del coeficiente de fluctuación y de la velocidad media, y obtenemos

- Velocidad tangencial con carga

$$v_c = -v_v \left(\frac{C_s - 2}{C_s + 2} \right)$$

El valor del coeficiente de fluctuación para molinos es 0,2 según la tabla anterior. Reemplazamos este valor en la ecuación de la velocidad tangencial con carga, obtenemos

$$v_c = 36 \frac{m}{s}$$

Como v_c es menor a v_v , existe una cesión de potencia por parte del volante al grano.

Con el dato obtenido podemos calcular la velocidad angular con carga mediante la siguiente ecuación:

- Velocidad angular final

$$\omega_c = \frac{v_c}{r_g}$$

$$\omega_c = \frac{36}{0,209} = 172,2 \frac{rad}{s}$$

Obtenidas las velocidades angulares, se puede calcular la aceleración del sistema, por medio de la siguiente ecuación

- Aceleración angular

Partimos de la ecuación del movimiento angular desacelerado

$$\omega_v^2 = \omega_c^2 + 2 * \alpha * \theta$$

Donde:

α = aceleración angular

θ = ángulo de separación entre martillos (cada disco tendrá tres ejes porta martillos, por lo tanto este ángulo será de 120 grados)

$$\theta = 120^\circ = 2,0944 \text{ rad}$$

Por lo tanto, de la ecuación anterior obtenemos:

$$\alpha = \frac{\omega_v^2 - \omega_c^2}{2 * \theta}$$

$$\alpha = \frac{(210,6)^2 - (172,2)^2}{2 * 2,0944} = 3509,2 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

Calculamos la fuerza de corte

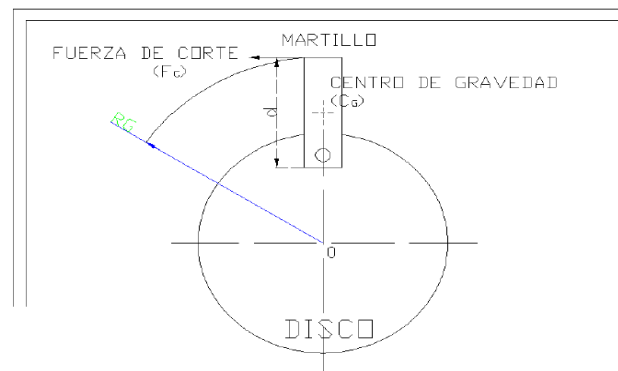


Figura 41: Fuerza de Corte
Fuente: (Ines, 2011)

El momento de inercia del martillo está dado por la siguiente ecuación

- Momento de inercia del martillo

$$I_o = \frac{1}{12} * m_m * d^2$$

Donde:

m = masa del martillos

d = longitud del martillo

4.1.2.2. Análisis de fuerzas presentes en el martillo

La masa del martillo se calcula desde el software Solidworks, considerando la densidad del hierro a fundición gris es igual a 7200 Kg/m^3 , teniéndose como resultado la siguiente figura.

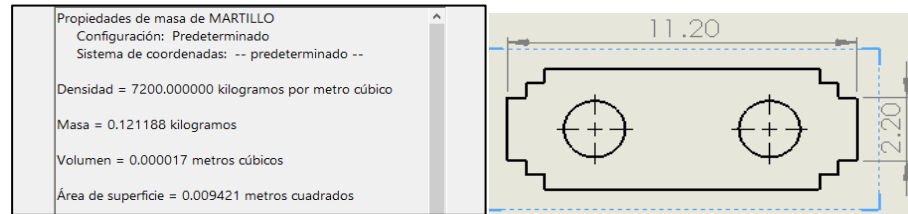


Figura 42: Características de Martillos
Fuente: (SOLIDWORKS, 2016)

Donde:

$$m_m = 0,1213 \text{ Kg}$$

$$V = 0,000017 \text{ m}^3$$

$$d = 11,2 \text{ cm} = 0,112 \text{ m}$$

Por lo tanto, el momento de inercia es

$$I_o = \frac{1}{12} * m_m * d^2$$

$$I_o = \frac{1}{12} * 0,1213 * 0,112^2$$

$$I_o = 0,00012679 \text{ Kg} \cdot \text{m}^2$$

- Fuerza de corte

La fuerza de corte produce un momento que es dado por la siguiente ecuación.

$$M = F_c * d$$

El momento que produce la fuerza de corte con respecto al centro de giro del martillo viene dado por la siguiente ecuación:

$$M = I_o * \alpha$$

Entonces se iguala ambas ecuaciones y se despeja la fuerza de corte:

$$F_c = \frac{I_o * \alpha}{d}$$

$$F_c = \frac{0,00012679 \text{ Kg} \cdot \text{m}^2 * 3509,2 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}}{0,112 \text{ m}} = 4 \text{ N}$$

4.1.2.3. Falla por rotura o cizalladura

Debido al orificio en el martillo, puede generarse una falla por rotura, como se muestra en la figura

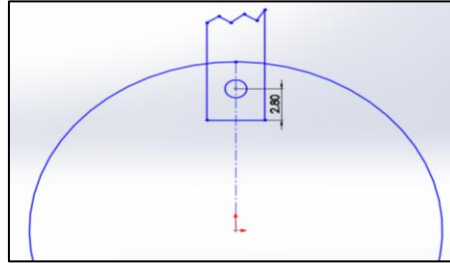


Figura 43: Falla por Cizalladura
Fuente: (SOLIDWORKS, 2016)

Calculamos el área de desgarro mediante la siguiente ecuación

- Área de desgarro

$$A_d = e * d_1 * 2$$

Donde

e = espesor del martillo = 0,45 cm = 0,0045 m

d_1 = 2,8 cm = 0,028 m distancia del centro del orificio al borde del martillo

Reemplazamos los datos y obtenemos

$$A_d = 0,0045 * 0,028 * 2$$

$$A_d = 0,000252 \text{ m}^2$$

Calculamos la fuerza centrífuga, para garantizar que los martillos se mantengan en la posición de trabajo

- Fuerza centrífuga

$$F_{cf} = \omega^2 * m_m * Rg$$

$$F_{cf} = 210,6^2 \frac{\text{rad}^2}{\text{s}^2} * 0,1213 \text{ Kg} * 0,209 \text{ m}$$

$$F_{cf} = 1124,41 \text{ N}$$

El valor de la fuerza centrífuga es mucho mayor que la fuerza tangencial o de corte, esto quiere decir que el martillo si mantiene su posición de trabajo.

Con el valor obtenido de la fuerza centrífuga, calculamos el esfuerzo normal

- Esfuerzo cortante

$$\tau_c = \frac{F_{cf}}{A_d}$$
$$\tau_c = \frac{1124,41}{0,000252} = 4,5 \text{ MPa}$$

- Factor de seguridad

Los martillos utilizan material hierro fundido gris con $S_{ut} = 151,66 \text{ MPa}$ (Anexo 2), por lo tanto el factor de seguridad para materiales frágiles y cargas de choque e impacto se calcula con la siguiente ecuación:

$$n = \frac{S_{ut}}{12\tau_c} \quad (\text{Shigley, pág. 227})$$
$$n = \frac{151,66}{12 * 4,5} = 2,8$$

El factor de seguridad es alto, por lo que no existe falla por rotura o cizalladura.

4.1.2.4.Falla por tracción

Debido a la tracción que genera el perno sobre el área de la placa, también se puede dar una falla por desgarramiento o cizalladura, por lo que se hace necesario calcular el factor de seguridad.

- Esfuerzo normal

El esfuerzo normal por tracción, debido a la fuerza centrífuga se calcula mediante la siguiente ecuación

$$\sigma = \frac{F_{cf}}{A_{st}} \quad (\text{Gere, pág. 4})$$

Donde:

A_{st} = Área de la sección transversal del martillo: e x a

$$\sigma = \frac{1124,41 \text{ N}}{0,0045 * 0,042} = 6 \text{ MPa}$$

- Factor de seguridad

$$n = \frac{S_{ut}}{\sigma}$$

$$n = \frac{151,66}{12 * 6} = 2,2$$

El factor de seguridad es alto, por lo tanto, no existe falla por desgarramiento o cizalladura.

4.1.3. Diseño del eje secundario porta martillos

Para que los martillos se sostengan en el disco existe un eje que pasara entre ambos, el diámetro de este eje se definió en el diseño de los martillos, y es de 1.25 cm, con cabeza hexagonal, longitud de 27,8 cm y una tuerca de 0,5 cm de espesor, todo esto utilizan un material de acero AISI 1020, con resistencia a la fluencia de $S_y = 390 \text{ MPa}$.

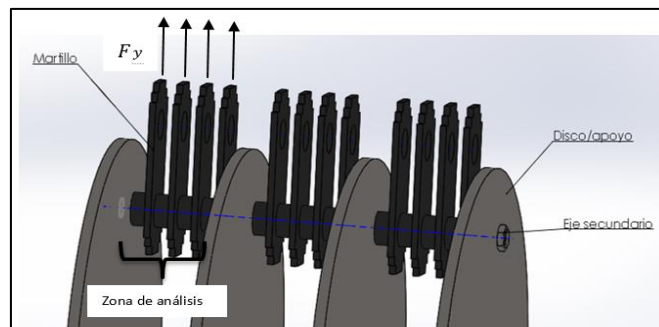


Figura 44: Diseño Eje Secundario
Fuente: (SOLIDWORKS, 2016)

Cada eje secundario soporta 12 martillos, y se encuentra apoyado en 4 discos como se muestra en la figura

Se analizara un segmento del eje secundario ya que en los demás segmentos ocurre lo mismo.

Las fuerzas que actúan en el eje secundario son las fuerzas centrífugas presente en los martillos por la dinámica del molino y el peso de los martillos, mientras que los discos que soportan los ejes representan los apoyos.

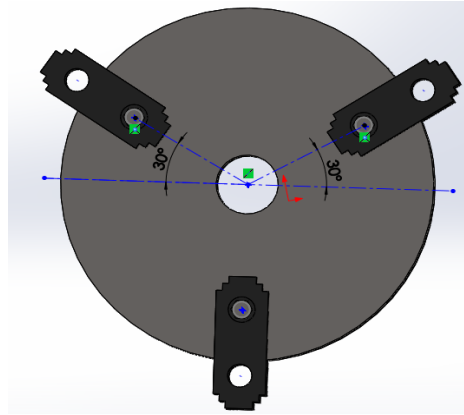


Figura 45: Fuerzas en Eje Secundario
Fuente: (SOLIDWORKS, 2016)

Plano Y:

$$F_{y30^\circ} = F_{cf} * \text{sen}30^\circ - W_m$$

$$F_{y30^\circ} = 1124,41 \text{ N} * \text{sen}30^\circ - 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0.1213 \text{ Kg}$$

$$F_{y30^\circ} = 561,02 \text{ N}$$

$$F_{y270^\circ} = F_{cf} + W_m$$

$$F_{y270^\circ} = 1124,41 \text{ N} + 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0.1213 \text{ Kg}$$

$$F_{y270^\circ} = 1125,6 \text{ N}$$

Plano Z:

$$F_{z0^\circ} = F_{z150^\circ} = F_{cf} * \cos30$$

$$F_{z0^\circ} = F_{z150^\circ} = 973 \text{ N}$$

Como se observa, el caso más crítico es cuando el eje secundario se encuentra a 270° con respecto al eje de referencia, debido al impacto que genera los martillos con el grano en esa posición, por lo tanto se analizara para este caso.

Se realizó un análisis estático, en el eje secundario, obteniendo lo siguiente:

$$F_{y270^\circ} = 1125,6 \text{ N}$$

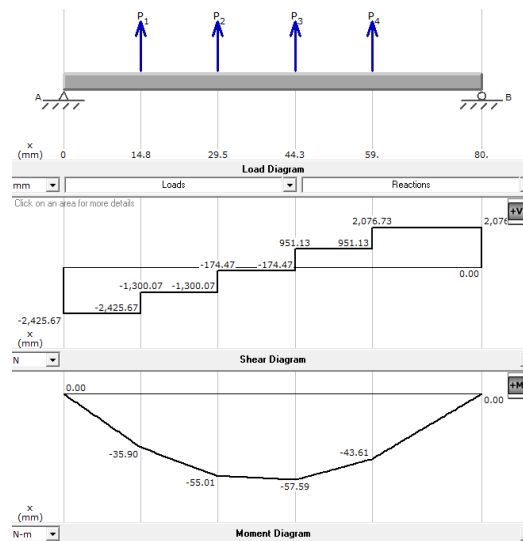


Figura 46: diagrama de esfuerzos del eje secundario
Fuente: (MDSolids 4.0, 2016)

Diagrama de fuerzas cortantes momentos en el eje secundario

También están presentes en el eje esfuerzos flexionantes y cortantes, para el cálculo se tienen las siguientes ecuaciones:

- Esfuerzo por flexión

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{M_{m\acute{a}x}}{S}$$

Donde

S = módulo de sección:

$$S = \frac{\pi * d^3}{32}$$

- Esfuerzo cortante:

$$\tau = \frac{4}{3} * \frac{V}{A}$$

$$\tau = \frac{16}{3} * \frac{V}{\pi * d^2}$$

De acuerdo a los diagramas de fuerzas cortantes y momentos, tenemos que:

$$M_{m\acute{a}x} = 57,6 \text{ Nm}$$

$$V = 174,5 \text{ N}$$

Reemplazando en las ecuaciones anteriores

- $\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{M_{m\acute{a}x} * 32}{\pi * d^3}$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{57,6 \text{ N.m} * 32}{\pi * (0,0125^3)}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 300,4 \text{ MPa}$$

- $\tau = \frac{16}{3} * \frac{V}{\pi * d^2}$

$$\tau = \frac{16}{3} * \frac{174,5}{\pi * 0,0125^2}$$

$$\tau = 1,8 \text{ MPa}$$

El factor de seguridad se calcula de la siguiente manera:

$$n = \frac{S_y}{\sigma} = \frac{390}{304,4} = 1,3$$

4.1.4. Determinación de pesos para el análisis del eje principal

Para el análisis de fuerzas que se verá más adelante, se toma a las piezas mecánicas como una sola carga, es decir una sola volante que ejerce en el eje principal. Las propiedades físicas de las piezas, se obtuvieron directamente del software Solidworks, por medio de los datos obtenidos de la maquina actual.

- Peso del eje principal

$$m_{ep} = 8,336 \text{ Kg}$$

Con la masa del eje principal calculamos el peso en N

$$W_{ep} = 8,336 \text{ Kg} * 9,80665 = 81,75 \text{ N}$$

- Peso de los discos

$$m_d = 4,32 \text{ Kg}$$

Como son 4 los discos porta martillos, entonces:

$$W_d = 4,32 \text{ Kg} * 4$$

$$W_d = 17,28 \text{ Kg} * 9,80665 = 169,46 \text{ N}$$

- Separador de discos:

$$m_{sd} = 0,498 \text{ Kg}$$

Hay 3 separadores de discos

$$W_{sd} = 0,498 \text{ Kg} * 3$$

$$W_{sd} = 1,5 \text{ Kgf} * 9,80665 = 14,71 \text{ N}$$

- Peso de martillos

$$m_m = 0,1213 \text{ Kg}$$

Como se vio en la sección anterior, el molino actual cuenta con 36 martillos, por lo tanto:

$$W_m = 0,1213 \text{ Kg} * 36$$

$$W_m = 4,367 \text{ Kgf} * 9,80665 = 42,83 \text{ N}$$

- Separador de martillos

$$m_{sm} = 0,02176 \text{ Kg}$$

Hay 45 separadores de disco, por lo tanto:

$$W_{sm} = 0,02176 \text{ Kg} * 45$$

$$W_{sm} = 0,98 \text{ Kgf} * 9,80665 = 9,61 \text{ N}$$

- Pesos de ejes secundarios

$$m_{es} = 0,285 \text{ Kg}$$

El molino consta de 3 ejes porta martillos, por lo tanto:

$$W_{es} = 0,285 \text{ Kg} * 3$$

$$W_{es} = 0,855 \text{ Kgf} * 9,80665 = 8,385 \text{ N}$$

El peso final del rotor será:

$$W_{rotor} = W_{ep} + W_d + W_{sd} + W_m + W_{sm} + W_{es}$$

$$W_{rotor} = 81,75 + 169,46 + 14,71 + 42,83 + 9,61 + 8,385$$

$$W_{rotor} = 326,75 \text{ N}$$

- Peso de la polea

$$m_p = 6,47389 \text{ kg}$$

Por lo tanto:

$$W_{polea} = 6,47389 \text{ Kg} * 9,80665 = 63,48 \text{ N}$$

4.1.4.1. Análisis de fuerzas presentes en el eje principal

Es necesario realizar un análisis del eje principal del molino de martillos, para comprobar la resistencia que tiene a la hora de realizar su trabajo.

Por dato de la empresa se tiene las dimensiones del eje

- Longitud de eje principal: 65 cm
- Diámetro del eje: 5 cm



Figura 47: Dimensión Eje Principal
Fuente: (SOLIDWORKS, 2016)

- Análisis estático

Se realiza el análisis mediante el diagrama de fuerzas y momentos

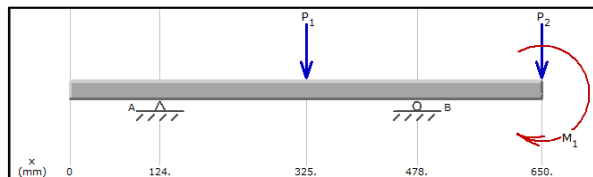


Figura 48: Diagrama de cuerpo libre del eje principal
Fuente: (MDSolids 4.0, 2016)

Donde:

$$P_1 = W_{rotor} = 326,75 \text{ N}$$

$$P_2 = W_{polea} = 63,48 \text{ N}$$

A continuación se presentan los diagramas de esfuerzo cortante y momentos máximos.

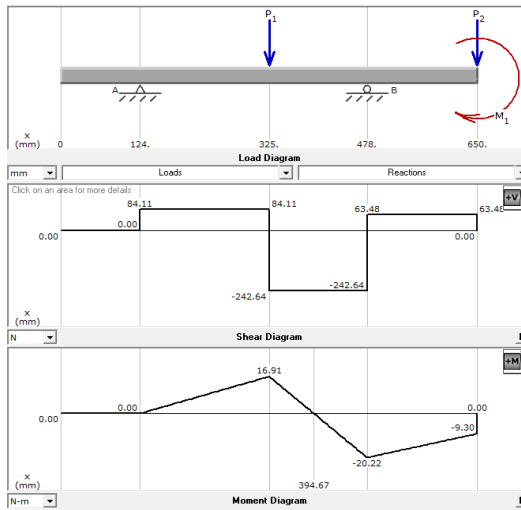


Figura 49: Diagrama de esfuerzos cortantes y momentos
Fuente: (MDSolids 4.0, 2016)

De los diagramas se tiene:

- Esfuerzo cortante máximo = 242,64 N
- Momento flector máximo = 20,22 N.m

4.1.4.2. Análisis de fatiga del eje principal

Para el análisis de fatiga, se determinará el límite de resistencia a la fatiga, ya que el eje durante su funcionamiento se encuentra sometido a flexión y torsión.

- Límite de resistencia a la fatiga

Marín identificó factores que cuantifican los efectos de la condición superficial, el tamaño, la carga, la temperatura y varios otros puntos (Shigley, pág. 279). Por lo tanto, la ecuación de Marín se escribe

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e$$

Donde:

k_a = factor de modificación de la condición superficial (Anexo 4)

k_b = factor de modificación del tamaño (Shigley, pág. 280)

k_c = factor de modificación de la carga (Shigley, pág. 282)

k_d = factor de modificación de la temperatura (Shigley, pág. 283)

k_e = factor de confiabilidad (Anexo 5)

k_f = factor de modificación de efectos varios

S'_e = límite de resistencia a la fatiga (Shigley, pág. 274)

S_e = límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la geometría y condición de uso.

El eje principal de la maquina actual, utiliza un material de acero AISI 1020 estirado en frio con $S_{ut} = 470 \text{ MPa}$ (Anexo 3), por lo que el límite de resistencia a la fatiga se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$S'_e = 0,5 S_{ut}$$

Reemplazando, obtenemos:

$$S'_e = 0,5 * 470 \text{ MPa} = 235 \text{ MPa}$$

Luego calculamos los factores de la ecuación de Marín:

$$- k_a = aS_{ut}^b$$

Según la siguiente tabla 6,2 y acabado superficial de laminado en caliente, tenemos:

$$a = 4,51 \quad y \quad b = -0,265$$

Reemplazamos los valores:

$$k_a = 4,51(470)^{-0,265} = 0,88$$

- Para un eje rotativo, sometido a flexión y torsión, tenemos

$$k_b = 1,24d^{-0,107} \quad , \quad 2,79 \leq d \leq 51 \text{ mm}$$

El diámetro del eje en la zona de trituración es: $d = 5 \text{ cm} = 50 \text{ mm}$, por lo tanto, tenemos:

$$k_b = 1,24(50)^{-0,107} = 0,82$$

- $k_c = 1$, por flexión

- $k_d = 1$

- $k_e = 0,814$, para una confiabilidad de 99%

- $k_f = 1 + q(k_t - 1)$ ó $k_{fs} = 1 + q(k_{ts} - 1)$

Determinamos k_t y k_{ts} , según la figura A-15-8 y A-15-9, y con

$\frac{D}{d} = \frac{5}{4} = 1,25$, y $\frac{r}{d} = 0,02$ (filete de hombro agudo), obtenemos:

$$k_t = 2,4 \quad y \quad k_{ts} = 2,08$$

Determinamos q , teniendo en cuenta que $r = 0,02 * 40 = 0,8 \text{ mm}$, tenemos por figura 6.20 y 6.21

$$q = 0,65 \text{ y } q_s = 0,7$$

Por lo tanto, calculamos el factor de concentración de esfuerzos

$$k_f = 1 + 0,65(2,4 - 1) = 1,91 \quad , \quad k_{fs} = 1 + 0,7(2,08 - 1) = 1,76$$

Finalmente calculamos el límite de resistencia a la fatiga del eje principal, reemplazando los valores de cada factor.

$$S_e = (0,88)(0,82)(1)(1)(0,814)(1,91)(235)$$

$$S_e = 263,65 \text{ MPa}$$

- Esfuerzo alternante y esfuerzo medio

Los esfuerzos de flexión y torsión pueden estar presentes tanto en componentes medios como en alternantes. Para este análisis, se combina los diferentes tipos de esfuerzos en esfuerzos de von Mises alternantes y medios, como sigue. Con factor de concentración de esfuerzos de $k_f = 1,91$, $k_{fs} = 1,76$

$$\sigma_a = k_f \frac{32M_a}{\pi d^3} \quad (\text{esfuerzo alternante})$$

$$\sigma_a = (1,91) \frac{32 * 20,22}{\pi (0,04)^3}$$

$$\sigma_a = 6,15 \text{ MPa}$$

Debido a que se permite solo un tipo de carga, entonces el esfuerzo medio debe ser cero

$$\sigma_m = 0$$

- Esfuerzo cortante medio

De la misma manera, se utiliza las ecuaciones de von Mises

$$\tau_m = k_{fs} \frac{16T_m}{\pi d^3}$$

$$\tau_m = 1,76 \frac{16 * 9,3}{\pi (0,04)^3}$$

$$\tau_m = 1.3 \text{ MPa}$$

- Número de ciclos a la falla

Se determinara el número de ciclos de falla a la fatiga, partiendo de la resistencia a la fatiga según Manson-Coffin, donde se tiene que si la resistencia a la tensión $S_{ut} < 70 \text{ kpsi}$, se toma a la fracción de resistencia a la fatiga $f = 0,9$. (Shigley, pág. 277).

Por lo que la ecuación de la resistencia a la fatiga se escribe de la siguiente manera:

$$S_f = aN^b$$

Como se sabe que el eje tiene un material de acero AISI 1020, con $S_{ut} = 68 \text{ kpsi}$, se toma a $f = 0,9$, y como se produce un esfuerzo alternante en dicho eje, se tiene que $S_f = \sigma_a$, el número de ciclos a la falla se expresa:

$$N = \left(\frac{\sigma_a}{a} \right)^{\frac{1}{b}}$$

Donde:

$$a = \frac{(fS_{ut})^2}{S_e} \quad ; \quad b = -\frac{1}{3} \log \left(\frac{fS_{ut}}{S_e} \right)$$

Reemplazando valores:

$$a = \frac{(0,9 * 470)^2}{235} = 695,2 \text{ MPa}$$

$$b = -\frac{1}{3} \log \left(\frac{0,9 * 470}{235} \right) = -0,0851$$

Por lo tanto, el número de ciclos a la falla del eje principal es:

$$N = \left(\frac{6,15}{695,2} \right)^{\frac{1}{-0,0851}} = 1,22 \times 10^{24} \text{ ciclos}$$

Con el valor obtenido, se determina que el eje principal es muy resistente para soportar los elementos del sistema de trituración, esto quiere decir que para el rediseño del molino de martillos, se diseñara un segundo eje con las mismas características del eje actual.

4.1.4.3. Rodamientos en el eje principal

El criterio de selección de los rodamientos para el molino de martillos actual, se realiza de acuerdo a la carga que abarca el sistema de trituración (martillos, discos, ejes secundarios, separadores). Para esta selección de rodamientos se utiliza la siguiente ecuación

$$C_{10} = F_D \left(\frac{L_D n_D 60}{L_D n_R 60} \right)^{1/a}$$

Donde:

- F_D = Carga radial del diseño (kN)
- L_D = Vida deseada (horas)
- n_D = velocidad deseada (rpm)
- $a = 3$, se aplica para rodamientos de bolas.
- $L_D n_R 60 = 10^6$ (Parámetro determinado por SKF)

Para la carga radial del diseño se considera la siguiente tabla:

Tabla 25: Características de Molino

Elemento	Cantidad	Masa x unidad (Kg)	Masa total (Kg)
Martillos	36	0,1213	4,367
Discos	4	4,32	17,28
Separador de martillos	45	0,0218	0,981
Separador de discos	3	0,4978	1,4934
Ejes secundarios	3	0,285	0,855
Eje principal	1	8,336	8,336
Total			33,31

Fuente: Elaboración Propia

Se multiplica el valor total por $9,80665 \text{ m/s}^2$

$$F_D = 33,31 \text{ Kg} * 9,80665 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 326,66 \text{ N}$$

Como son dos rodamientos, se tiene:

$$F_D = \frac{326,66}{2} 163,33 \text{ N}$$

Los efectos dinámicos son despreciables, porque se asume que los elementos de la maquina están alineados y balanceados.

Para la vida deseada utilizaremos la tabla 11.4 de Shigley, donde seleccionamos el tipo de aplicación de una máquina para servicio de 8 horas, que se utiliza plenamente, por lo tanto

$$L_D = 30\,000 \text{ horas}$$

Reemplazamos en la formula

$$C_{10} = 163,33 \left(\frac{30\,000 * 3000 * 60}{10^6} \right)^{1/3}$$

$$C_{10} = 2,865 \text{ kN}$$

Con el valor obtenido vamos a la tabla 11.2 de Shigley, escogemos un rodamiento serie 2 de:

$$D_i = 40 \text{ mm}$$

$$D_e = 80 \text{ mm}$$

$$a = 18 \text{ mm}$$

4.1.4.4. Indicador OEE y capacidad del molino de martillos

- Capacidad del molino

$$W_I = \frac{44,5 \times 1,1}{(Pi)^{0,23} (g/r)^{0,82} \left[\frac{10}{\sqrt{L_f}} - \frac{10}{\sqrt{L_i}} \right]}$$

$$\frac{g}{r} = \frac{0,313 \times 10^5 \frac{\text{granos}}{\text{min}}}{2100 \text{ rpm}} = 15 \frac{\text{granos}}{\text{rev}}$$

Según los datos de la empresa, se obtuvo:

$$Pi = \frac{3}{8}'' = 0,009525 \text{ m}$$

$$L_f = 5 \text{ mm} = 0,005 \text{ m}$$

$$L_i = 6,4 \text{ mm} = 0,0064 \text{ m}$$

$$W_I = 0,94 \text{ KWh/Tn}$$

Por lo tanto

$$W = W_I \left(\frac{100}{L_f} \right)^{0,5} \left(\frac{r^{0,5} - 1}{r^{0,5}} \right)$$

$$W = 15,44 \text{ KWh/Tn}$$

Entonces la capacidad

$$CP = \frac{P}{W} = 1,2 \text{ Tn/hora}$$

- Rendimiento mecánico

$$\eta = \frac{G * R^2 * n^3 * e * f}{8 * 100\,000 * P_m}$$

$$\text{Con } v_c = 36 \frac{m}{s}, f = 0,003$$

$$\eta = 0,55 = 55\%$$

- Indicador OEE

Para el análisis OEE se consideró los datos de la empresa de acuerdo a la disponibilidad, rendimiento y calidad del proceso de producción en el molino de martillos (Anexo 2), obteniendo lo siguiente:

Tabla 26 Efectividad OEE molino actual

Tiempo teórico de producción (horas)	
2504	
Tiempo Disponible	Paradas Planificadas
2412	92
Tiempo Operativo	Pérdida de Disponibilidad
2161	251
Tiempo Operativo Neto	Pérdida de Rendimiento
1936	225
Tiempo Productivo	Pérdida de Calidad
1796	140

Fuente: Elaboración propia

$$Disponibilidad = \frac{Tiempo\ Operativo}{Tiempo\ Disponible} = 0,896 \times 100 = 89,6\%$$

$$Rendimiento = \frac{Tiempo\ Operativo\ neto}{Tiempo\ Operativo} = 0,896 \times 100 = 89,6\%$$

$$Calidad = \frac{Tiempo\ Productivo}{Tiempo\ Operativo\ neto} = 0,928 \times 100 = 92.8\%$$

$$OEE = 74.5\%$$

El valor de OEE se encuentra en un nivel regular, esto quiere decir que se debe cumplir el objetivo del rediseño del molino de martillos para obtener mejoras mecánicas, eléctricas y productivas.

4.2.Diseño de los nuevos parámetros para la el molino de martillos

Para el diseño de los nuevos elementos, se tiene en cuenta parámetros como la geometría de los martillos, discos y bastidor, así como el tipo de material adecuado y necesario para su buen funcionamiento. En el primer eje de rotación ira montado un engranaje helicoidal con la finalidad de conducir al segundo eje que tendrá otro engranaje igual al anterior para obtener las mismas rpm, y poder aumentar la producción de maíz.

4.2.1. Diseño del sistema de transmisión

Para el diseño de la transmisión se utilizara engranajes helicoidales, como ya se determinó anteriormente por selección de tipo de transmisión, por lo tanto, el piñón y el engranaje deberán tener el mismo diámetro para obtener la misma velocidad, en el eje motriz y en el eje conducido. Se aplica las características del nuevo motor para este rediseño.

- Calculo del piñón

Las velocidades en cada eje serán 1760 rpm. Por lo tanto la relación de transmisión:

$$m_g = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$m_g = \frac{1760}{1760} = 1$$

El material que utilizaran los engranajes es acero AISI 1020, con resistencia ultima a la tensión para el piñón y engranaje de $S_{ut} = 470\ MPa$. Se diseñara con un diámetro de paso de 190 mm y ancho de diente de 40 mm

- Numero de dientes mínimo:

Calculamos un número de dientes de los engranajes como referencia para luego tener un número de dientes final, consideramos lo siguiente:

ϕ_n = Ángulo de presión normal igual a 20°

ψ = Ángulo de hélice para engranajes helicoidales de 15° (para dientes helicoidales: $15^\circ \leq \psi \leq 25^\circ$) (Dávila, pág. 20)

Se tiene que el ángulo de presión tangencial se calcula con la ecuación:

$$\phi_t = \tan^{-1} \left(\frac{\tan \phi_n}{\cos \psi} \right) \quad (\text{Shigley, pág. 674})$$

$$\phi_t = \tan^{-1} \left(\frac{\tan 20}{\cos 15} \right) = 20,65^\circ$$

Por lo tanto:

$$Z_{min} = \frac{2k \cos \psi}{3 \sin^2 \phi_t} \left(1 + \sqrt{1 + 3 \sin^2 \phi_t} \right) \quad (\text{Shigley, pág. 674})$$

Para dientes de profundidad completa se tiene $k = 1$

$$Z_{min} = 11,2 = 11 \text{ dientes}$$

Se asume que el valor calculado es el número de dientes del piñón

$$Z_{min} = \frac{Z_p^2 \sin^2 \phi_t - 4k^2 \cos^2 \psi}{4k \cos \psi - 2Z_p \sin^2 \phi_t}$$

$$Z_{min} = 10,04 = 10 \text{ dientes}$$

Como los engranajes van tener mismo diámetro, por lo tanto, tendrán igual número de dientes, para ello elegimos el número de dientes de 11.

Calculamos la distancia entre centros de los engranajes, con diámetro de 160 mm en cada engranaje, entonces:

$$C = \frac{D_p + d_g}{2} = \frac{160 + 160}{2} = 160 \text{ mm}$$

Estimamos el modulo con la siguiente ecuación

$$m = \frac{2 * C * \cos \psi}{Z_p * (1 + m_g)} \quad (\text{Dávila, pág. 19})$$

$$m = \frac{2 * 160 * \cos 15}{11 * (1 + 1)} = 14$$

Entonces: $m = 20, 16, 12, 10, 8$

También se utiliza la siguiente relación para determinar los dientes finales que tendrán los engranajes. Como $15^\circ \leq \psi \leq 25^\circ$, entonces

$$\frac{2 * C * \cos 25}{m} \leq Z_p + Z_g \leq \frac{2 * C * \cos 15}{m}$$

Para:

$$m = 12, \quad 24 \leq Z_p + Z_g \leq 26$$

$$m = 8, \quad 36 \leq Z_p + Z_g \leq 39$$

$$m = 6, \quad 48 \leq Z_p + Z_g \leq 52$$

$$m = 5, \quad 58 \leq Z_p + Z_g \leq 62$$

En la siguiente tabla se muestra una tabulación para determinar los numero de dientes de los engranes y el ángulo de hélice correspondiente al número de dientes.

$$\cos \psi = \frac{mZ_p}{D_p}$$

Tabla 27: Número de Dientes de Engranaje

m	$Z_p + Z_g$	Z_p	Z_g	m_g	ψ
12	26	13	13	1	12,84
8	38	19	19	1	18,2
6	52	26	26	1	13,12
5	60	31	31	1	20,36

Fuente: Elaboración Propia

Por lo tanto:

$$m = 5 \quad ; \quad m_g = 1$$

$$Z_p = Z_g = 31 \text{ dientes} \quad ; \quad \psi = 20,36^\circ$$

- Ángulo de presión transversal

$$\phi_t = \tan^{-1} \left(\frac{\tan 20}{\cos 20,36} \right) = 21,2^\circ$$

- Par torsor transmitido por el engranaje

$$T = \frac{P_m}{\omega_v}$$

$$T = \frac{25 * 746}{184,31} = 101,2 \text{ N.m}$$

- Velocidad de línea de paso

$$V_p = \frac{2\pi * D_p * n}{60}$$

$$V_p = \frac{\pi * 0,16 * 1760}{60} = 15 \frac{m}{s}$$

- Carga tangencial

$$W_t = \frac{P_m}{V_p} \quad (\text{Shigley, pág. 686})$$

$$W_t = \frac{25 * 746}{15} = 1243 \text{ N}$$

- Cálculo de esfuerzo de flexión

Para el cálculo de resistencia a la flexión se realiza cálculo de cargas estandarizadas mediante la norma AGMA 2001-D04. Se considera la resistencia última a la tensión para los engranajes de $S_{ut} = 470 \text{ MPa}$, con Dureza Brinell de $HB = 131$.

$$\sigma = \frac{W_t K_o K_v K_s K_H K_B}{mb Y_J} \quad (\text{Shigley, pág. 726})$$

Donde:

σ = esfuerzo de flexión

W_t = carga tangencial (N)

K_o = factor de sobrecarga

K_s = factor de tamaño

K_H = factor de distribución de carga

K_B = factor de espesor de arco

K_v = factor dinámico

m = módulo métrico

b = ancho de diente

Y_J = factor geométrico

Determinamos cada uno de los factores:

- Factor de sobre carga: como fuente de potencia se tiene motor eléctrico, y la maquina impulsada es un molino de proceso, por lo tanto:

$$K_0 = 1,75$$

- Factor de tamaño: AGMA sugiere

$$K_s = 1$$

- Factor de distribución de carga: está dado por el factor de distribución de la carga en la cara C_{mf}

$$K_H = C_{mf} = 1 + C_{mc}(C_{pf}C_{pm} + C_{ma}C_e) \quad (\text{Shigley, pág. 739})$$

Donde:

$$\checkmark C_{mc} = 1, \text{ para dientes sin coronar}$$

$$\checkmark C_{pf} = \frac{F}{10d} - 0,0375 + 0,0125F, \text{ con } F = 1,97 \text{ pulg.}, d = 6,29 \text{ pulg.}$$

$$C_{pf} = 0,02$$

$$\checkmark C_{pm} = 1$$

$$\checkmark C_e = 1, \text{ para todas las condiciones}$$

$$\checkmark C_{ma} = A + BF + CF^2 \quad (\text{Tabla 14.9}) \quad (\text{Shigley, pág. 740})$$

Para condición de unidades comerciales cerradas.

$$C_{ma} = 0,127 + 0,0158(1,97) + (-0,930(10^{-4}) * 1,97^2) = 0,16$$

Por lo tanto se tiene:

$$K_H = C_{mf} = 1,18$$

- Factor de espesor de arco: se supondrá un espesor constante de engranajes, entonces $K_B = 1$.
- Factor dinámico: elegimos un número de control de calidad de 9, para engranajes en calidad de precisión según AGMA. Luego se calcula la velocidad máxima

$$V_{tmax} = \frac{[A+(Q_v-3)]^2}{200} \quad (\text{Shigley, pág. 736})$$

Donde:

$$B = 0,25(12 - Q_v)^{2/3} = 0,52$$

$$A = 50 + 56(1 - B) = 76,88$$

$$V_{tmax} = \frac{[76,88 + (9 - 3)]^2}{200} = 34,35 \text{ m/s} > V_p$$

Entonces:

$$K_v = \left(\frac{A + \sqrt{200V}}{A} \right)^B \quad (\text{Shigley, pág. 736})$$

$$K_v = 1,5$$

- Factor geométrico: de la figura 14.7 y 14.8 de shigley, tenemos:

$$Y_j = J' * \text{Factor de modificación}$$

$$Y_j = 0,44 * 0,955 = 0,42$$

Por lo tanto, el esfuerzo de flexión es:

$$\sigma = \frac{1243 * 1,75 * 1,5 * 1 * 1,18 * 1}{0,005 * 0,05 * 0,42} = 36,7 \text{ MPa}$$

- Factor de seguridad en flexión

$$S_F = \frac{\left(\frac{S_t Y_N}{K_T K_R} \right)}{\sigma} \quad (\text{Shigley, pág. 746})$$

Donde:

- Resistencia a la flexión de engranaje (S_t): para esta resistencia se utiliza la figura 14.2 de shigley, los engranajes tienen una dureza brinell de HB = 131. Para acero de grado 1, se tiene:

$$S_t = 0,533HB + 88,3 = 158,12 \text{ MPa}$$

- Factor de ciclo de esfuerzo (Y_N): para un numero de ciclos de 10^7 , según la figura 14,14 shigley, se tiene:

$$Y_N = 1,3558N^{-0,0178} = 1,02$$

- Factor de temperatura (K_T): para temperaturas de hasta 120°C, se tiene

$$K_T = 1$$

- Factor de confiabilidad (K_R): según la tabla 14.10 shigley, se tiene $K_R = 1$, para una confiabilidad de 99%.

Por lo tanto:

$$S_F = \frac{\left(\frac{158,12 * 1,02}{1 * 1}\right)}{36,7} = 4,4$$

- Calculo de esfuerzo de desgaste

$$\sigma_c = Z_E \left(W_t K_o K_v K_s \frac{K_H}{d_p b} \frac{Z_R}{I} \right)^{1/2}$$

- Coeficiente elástico (C_p): AGMA define según la tabla 14.8 shigley, entonces

$$Z_E = 191 \text{ MPa}$$

- Factor geométrico (I): para el cálculo de este factor, se calcula primero las siguientes ecuaciones.

Radio del círculo de base:

$$r_b = r_p \cos \phi_t = 80 * \cos 21,2 = 74.56 \text{ mm}$$

Paso diametral normal

$$P_n = \frac{Z_p}{D \cos \psi} = \frac{31}{160 \cos 20.36} = 0,21 \text{ mm}$$

Paso circular normal

$$P_N = \frac{\pi}{P_n} \cos \phi_n = \frac{\pi}{0,21} \cos 20 = 14,1 \text{ mm}$$

Adendum

$$a = \frac{1}{P_n} = 4.76 \text{ mm}$$

Longitud de línea de acción

$$Z = [(r_p + a)^2 - r_{bp}^2]^{1/2} + [(r_g + a)^2 - r_{bg}^2]^{1/2} - (r_p + r_g) \sin \phi_t$$

$$= 22,76 \text{ mm}$$

Relación de partición

$$m_N = \frac{P_N}{0,95Z} = \frac{14,1}{0,95 * 22,76} = 0,65$$

Por lo tanto:

$$I = \frac{\cos \phi_t \sin \phi_t}{2m_N} \frac{m_g}{m_g + 1} \quad (\text{Shigley, pág. 735})$$

$$I = \frac{\cos 21,2 * \sin 21,2}{2 * 0,65} * \frac{1}{1 + 1} = 0,13$$

El esfuerzo de desgaste es:

$$\sigma_c = 191 \left(1243 * 1,75 * 1,5 * 1 * \frac{1,18}{160 * 50} * \frac{1}{0,13} \right)^{1/2} = 367,5 \text{ MPa}$$

- Factor de seguridad en desgaste

$$S_H = \frac{S_c Z_N C_H / K_T K_R}{\sigma_c} \quad (\text{Shigley, pág. 747})$$

- Resistencia a la fatiga por contacto (S_c): con la figura 14.5 shigley, dureza Brinell HB = 131, y para un acero de grado 1, se tiene:

$$S_c = 2,22HB + 200 = 490,82 \text{ MPa}$$

- Factor de ciclos de esfuerzo a la picadura (Z_N): para un numero de ciclos de 10^7 , según la figura 14,15 shigley, se tiene:

$$Z_N = 1,4488N^{-0,023} = 1$$

- Factor de relación de la dureza (C_H): se obtiene mediante la relación de dureza Brinell.

$$\frac{H_{BP}}{H_{BG}} = \frac{131}{131} = 1 < 1,2$$

Entonces: $C_H = 1$

Por lo tanto, el factor de seguridad en desgaste es:

$$S_H = \frac{490,82 * 1 * 1/1 * 1}{367,5} = 1,34$$

Se compara ambos factores de seguridad el S_F y S_H , o $4,4 > 1,34^2 = 1,8$, se observa que los engranajes sufrirán una amenaza por desgaste.

4.2.2. Diseño de martillos

Lo que se requiere en este rediseño es aumentar la velocidad en el sistema de trituración, para ello, se define un radio de giro de 15.

Se empezara a calcular los nuevos parámetros de los martillos. Los martillos utilizaran un material más resistente, según el manual de diseño, será un acero AISI 1045. El espesor y diámetro de orificios mantendrán su dimensión.

Calculamos la velocidad tangencial a partir de la ecuación con $\omega_v = 184,3$

$$v_v = \omega_v * Rg$$

$$v_v = 28 \text{ m/s}$$

En base a la velocidad y radio de giro, se elige una longitud para el martillo de $L = 10 \text{ cm}$, con esto también se determina el diámetro del disco, el cual se verá más adelante.

Con un coeficiente de fluctuación de 0,2, se determina la velocidad del molino con carga.

$$v_c = -v_v \left(\frac{C_s - 2}{C_s + 2} \right) = 23 \text{ m/s}$$

La velocidad angular del molino ω , ya se determina de la siguiente manera, la cual es la velocidad angular con carga ω_c

$$\omega_c = \frac{v_c}{Rg} = 154 \text{ rad/s}$$

Con estos valores calculamos la aceleración angular, con ángulo de separación de:

$$\theta = 120^\circ = 2,0944 \text{ rad}$$

Por lo tanto, de la ecuación anterior obtenemos:

$$\alpha = \frac{\omega_v^2 - \omega_c^2}{2 * \theta}$$

$$\alpha = 2\,447,12 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Para el cálculo de la fuerza de corte del martillo, primero se calcula momento de inercia teniendo en cuenta la figura siguiente

Propiedades de masa de MARTILLO
Configuración: Predeterminado
Sistema de coordenadas: -- predeterminado --
Densidad = 7850.00000000 kilogramos por metro cúbico
Masa = 0.11433158 kilogramos
Volumen = 0.00001456 metros cúbicos
Área de superficie = 0.00830530 metros cuadrados

Donde:

$$m_m = 0,1143 \text{ Kg}$$

$$d = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$$

Por lo tanto, el momento de inercia es

$$I_o = \frac{1}{12} * m_m * d^2$$

$$I_o = \frac{1}{12} * 0,1143 * 0,1^2$$

$$I_o = 9 \times 10^{-5} \text{ Kg.m}^2$$

Luego calculamos la fuerza de corte:

$$F_c = \frac{I_o * \alpha}{d}$$

$$F_c = 2,2 \text{ N}$$

a) Falla por rotura o cizalladura

Calculamos el área de desgarro mediante la siguiente ecuación

- Área de desgarre

$$A_d = e * d_1 * 2$$

Donde

e = espesor del martillo = 0,45 cm = 0,0045 m

d₁ = 2,8 cm = 0,028 m distancia del centro del orificio al borde del martillo

Reemplazamos los datos y obtenemos

$$A_d = 0,0045 * 0,028 * 2$$

$$A_d = 0,000252 \text{ m}^2$$

Calculamos la fuerza centrífuga, para garantizar que los martillos se mantengan en la posición de trabajo

- Fuerza centrífuga

$$F_{cf} = \omega^2 * m_m * Rg$$

$$F_{cf} = 184,3^2 \frac{\text{rad}^2}{\text{s}^2} * 0,1143 \text{ Kg} * 0,15 \text{ m}$$

$$F_{cf} = 582,4 \text{ N}$$

El valor de la fuerza centrífuga es mucho mayor que la fuerza tangencial o de corte, esto quiere decir que el martillo mantendrá su posición de trabajo.

Con el valor obtenido de la fuerza centrífuga, calculamos el esfuerzo cortante

- Esfuerzo cortante

$$\tau = \frac{F_{cf}}{A_d}$$
$$\tau = \frac{582,4 \text{ N}}{0,000252 \text{ m}^2} = 2,32 \text{ MPa}$$

- Factor de seguridad

Los martillos utilizan un acero AISI 1045 con $S_y = 530 \text{ MPa}$, por lo que el factor de seguridad para materiales dúctiles de choque e impacto se calcula con la siguiente ecuación

$$n = \frac{S_y}{12\tau}, \quad (\text{Shigley, pág. 212})$$
$$n = \frac{530}{12 * 2,32} = 19$$

b) Falla por tracción

Se realiza el cálculo del esfuerzo normal

- Esfuerzo normal

$$\sigma = \frac{F_{cf}}{A_{st}} \quad (\text{Gere, pág. 4})$$

Donde:

A_{st} = Área de la sección transversal del martillo: e x a

$$\sigma = \frac{582,4 \text{ N}}{0,0045 * 0,042} = 3,1 \text{ MPa}$$

- Factor de seguridad

$$n = \frac{S_{ut}}{\sigma}$$
$$n = \frac{530}{11,2} = 14$$

El factor de seguridad es alto, por lo tanto, no existe falla por desgarramiento o cizalladura.

4.2.3. Diseño del disco porta martillos

Como se mencionó anteriormente, los discos conservaran algunas características como el diámetro interno debido al diámetro de eje en el sistema de trituración. Los orificios para los ejes secundarios también serán del mismo diámetro. Y conservara su espesor por no ser de gran importancia porque estos solo tienen la función de portar los martillos.

De acuerdo al radio de giro calculado en la sección anterior y a la longitud del martillo, se recomendó un diámetro de disco de 20 cm, este diseño del disco para el nuevo molino de martillos utilizara el mismo material que los elementos de la máquina de la empresa, es decir, acero AISI 1020. Las características y dimensiones de los nuevos discos, se pueden observar en el Plano N° 06.

Donde:

$$m_d = 1,8381 \text{ Kg}$$

$$V = 0,0002327 \text{ m}^3$$

4.2.4. Diseño del eje secundario

En el diseño de los ejes secundarios porta martillos para el nuevo eje, se considera las características y dimensiones de los mismos ejes del eje actual, ya que estos solamente soportan a los martillos y no es necesario modificarlos, utiliza un material de acero AISI 1020.

- Diámetro: 1,25 cm
- Longitud: 27,8 cm

Las fuerzas que actúan en el eje secundario son las fuerzas centrífugas presente en los martillos por la dinámica del molino y el peso de los martillos, mientras que los discos que soportan los ejes representan los apoyos.

Plano Y:

$$F_{y30^\circ} = F_{cf} * \text{sen}30^\circ - W_m$$

$$F_{y30^\circ} = 582,4 \text{ N} * \text{sen}30^\circ - 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,1143 \text{ Kg}$$

$$F_{y30^\circ} = 290 \text{ N}$$

$$F_{y270^\circ} = F_{cf} + W_m$$

$$F_{y270^\circ} = 2118,05 \text{ N} + 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,1213 \text{ Kg}$$

$$F_{y270^\circ} = 584 \text{ N}$$

Plano Z:

$$F_{z0^\circ} = F_{z150^\circ} = F_{cf} * \cos 30$$

$$F_{z0^\circ} = F_{z150^\circ} = 504 \text{ N}$$

De la misma manera como se vio en la sección 3.8.5. se realiza un análisis estático, obteniendo lo siguiente

$$F_{y270^\circ} = 584 \text{ N}$$

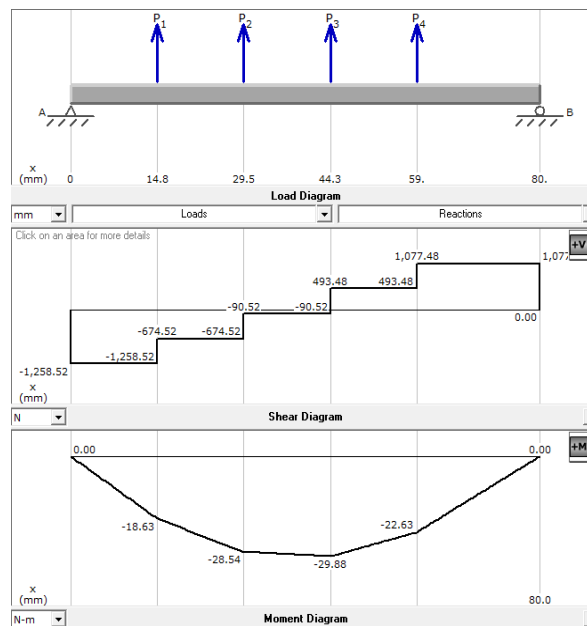


Figura 50: Diagrama de Fuerzas en Eje Secundario
Fuente: (MDSolids 4.0, 2016)

De acuerdo a los diagramas de fuerzas cortantes y momentos, tenemos que:

$$M_{m\acute{a}x} = 29,88 \text{ Nm}$$

$$V = 90,52 \text{ N}$$

También están presentes en el eje esfuerzos flexionantes y cortantes, para el cálculo se tienen las siguientes ecuaciones:

- Esfuerzo por flexión

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{M_{m\acute{a}x} * 32}{\pi * d^3}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 156 \text{ MPa}$$

- Esfuerzo cortante:

$$\tau = \frac{16}{3} * \frac{V}{\pi * d^2}$$

$$\tau = 1 \text{ MPa}$$

- Factor de seguridad

Para un acero AISI 1020, el límite de la resistencia a la fluencia es $S_y = 390 \text{ MPa}$

$$n = 2,5$$

4.2.5. Análisis de fuerzas presentes en los ejes

El rediseño consta de dos ejes, pero solo se analizarán las fuerzas en el eje motriz con un sistema de transmisión de engranajes helicoidales. Como se vio en la sección 3.8.6.1, primero se determina los pesos totales de los componentes del molino de martillos. Las masas y volúmenes se obtuvieron directamente del software Solidworks, como se realizó anteriormente.

- Peso de los discos

$$m_d = 1,8381 \text{ Kg}$$

Como son 4 los discos porta martillos, entonces:

$$W_d = 1,8381 \text{ Kg} * 4$$

$$W_d = 7,35 \text{ Kgf} * 9,80665 = 72,1 \text{ N}$$

- Peso de martillos

$$m_m = 0,1143 \text{ Kg}$$

Como se vio en la sección anterior, el molino actual cuenta con 36 martillos, por lo tanto:

$$W_m = 0,1143 \text{ Kg} * 36$$

$$W_m = 4,115 \text{ Kgf} * 9,80665 = 40,4 \text{ N}$$

El peso final del rotor será:

$$W_{rotor} = W_{ep} + W_d + W_{sd} + W_m + W_{sm} + W_{es}$$

$$W_{rotor} = 81,75 + 72,1 + 14,71 + 40,4 + 9,61 + 8,385$$

$$W_{rotor} = 197 \text{ N}$$

- Engranajes

Determinamos las cargas de los engranajes a partir de la potencia entregada por el motor.

- Carga tangencial del engranaje

$$W_t = 1243 \text{ N}$$

- Carga radial del engranaje

$$W_r = W_t \frac{\tan \phi_n}{\cos \psi} \quad (\text{Shigley, pág. 692})$$

Donde:

ϕ_n = Ángulo de presión normal igual a 20°

ψ = Ángulo de hélice para engranajes helicoidales de $20,36^\circ$

Por lo tanto:

$$W_r = 1243 \frac{\tan 20^\circ}{\cos 20,36^\circ} = 482,6 \text{ N}$$

- Carga axial del engranaje

$$W_a = W_r * \tan \psi \quad (\text{Shigley, pág. 692})$$

$$W_a = 482,6 \tan 20,36^\circ = 179,1 \text{ N}$$

En la siguiente figura se muestra un diagrama de cuerpo libre de las cargas en el eje motriz.

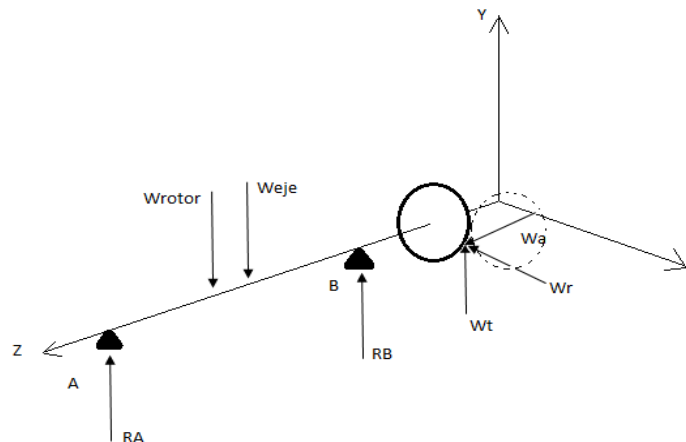


Figura 51: Diagrama de Cuerpo Libre
Fuente: Elaboración Propia

Analizamos las fuerzas en el eje. Primero analizamos las cargas en el plano YZ

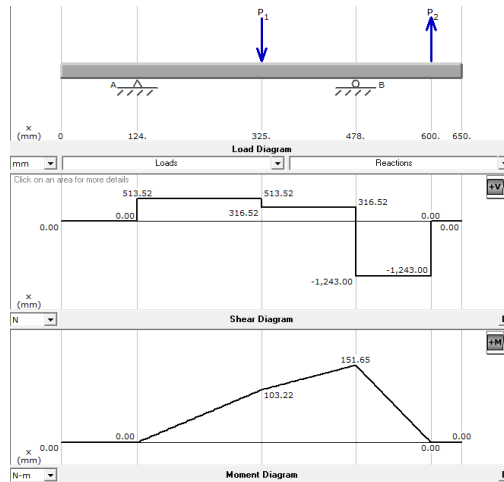


Figura 52: Diagrama de Fuerzas en los Ejes
Fuente: (MDSolids 4.0, 2016)

$$P_1 = W_{rotor} = 197 \text{ N}$$

$$P_2 = W_t = 1243 \text{ N}$$

Diagrama de momentos en el plano XZ

El momento generado por el engranaje, se calcula de la siguiente manera

$$M_1 = W_a \times \frac{D}{2}$$

$$M_1 = 179,1 \times \frac{0,16}{2} = 14,33 \text{ N.m}$$

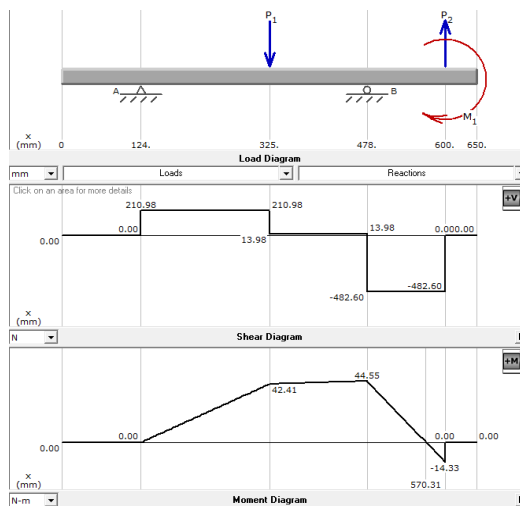


Figura 53: Diagrama de Momentos
Fuente: (MDSolids 4.0, 2016)

$$P_3 = W_r = 482,6N$$

Como se observa en los diagrama de momentos, se observa que el punto más crítico es en B, por lo que se calcula el momento resultante.

$$M_B = \sqrt{151,65^2 + 44,55^2} = 158,1 \text{ N.m}$$

Por lo que el momento flector máximo es 158,1 N.m.

4.2.6. Análisis de fatiga del eje principal

Para el análisis de fatiga, se determinara el límite de resistencia a la fatiga, ya que el eje durante su funcionamiento se encuentra sometido a flexión y torsión.

- Límite de resistencia la fatiga

Los ejes principales en el nuevo diseño mecánico tendrán las mismas características, con un material de acero AISI 1020 con $S_{ut} = 470 \text{ MPa}$, como se determinó anteriormente. Por lo tanto, los parámetros según la ecuación de Marín serán los mismos calculados en la sección 3.8.6.2, entonces tenemos:

$$\text{Con } S'_e = 0,5 S_{ut}$$

El límite de resistencia a la fatiga

$$S_e = 263,65 \text{ MPa}$$

- Esfuerzo alternante y esfuerzo medio

Para este análisis, se vuelve a utilizar los esfuerzos de von Mises alternantes y medios, con factor de concentración de esfuerzos de $k_f = 1,91$, $k_{fs} = 1,76$, y $M_a = 71,34 \text{ N.m}$, entonces se tiene:

$$\sigma_a = k_f \frac{32M_a}{\pi d^3} \quad (\text{esfuerzo alternante})$$

$$\sigma_a = (1,91) \frac{32 * 158,1}{\pi (0,04)^3}$$

$$\sigma_a = 48,1 \text{ MPa}$$

Debido a que se permite solo un tipo de carga, entonces el esfuerzo medio debe ser cero

$$\sigma_m = 0$$

- Esfuerzo cortante medio

De la misma manera, se utiliza las ecuaciones de von Mises, $T_m = 101,2 \text{ N.m}$

$$\tau_m = k_{fs} \frac{16T_m}{\pi d^3}$$

$$\tau_m = 1,76 \frac{16 * 101,2}{\pi (0,04)^3}$$

$$\tau_m = 14,2 \text{ MPa}$$

- Número de ciclos a la falla

Se determinara el número de ciclos de falla a la fatiga, partiendo de la resistencia a la fatiga según Manson-Coffin, donde se tiene que si la resistencia a la tensión $S_{ut} < 70 \text{ kpsi}$, se toma a la fracción de resistencia a la fatiga $f = 0,9$. (Shigley, pág. 277).

Por lo que la ecuación de la resistencia a la fatiga se escribe de la siguiente manera:

$$S_f = aN^b$$

Como se sabe que el eje tiene un material de acero AISI 1020, con $S_{ut} = 68 \text{ kpsi}$, se toma a $f = 0,9$, y como se produce un esfuerzo alternante en dicho eje, se tiene que $S_f = \sigma_a$, el número de ciclos a la falla se expresa:

$$N = \left(\frac{\sigma_a}{a} \right)^{\frac{1}{b}}$$

Donde:

$$a = \frac{(fS_{ut})^2}{S_e} \quad ; \quad b = -\frac{1}{3} \log \left(\frac{fS_{ut}}{S_e} \right)$$

Reemplazando valores:

$$a = \frac{(0,9 * 470)^2}{235} = 695,2 \text{ MPa}$$

$$b = -\frac{1}{3} \log \left(\frac{0,9 * 470}{235} \right) = -0,0851$$

Por lo tanto, el número de ciclos a la falla del eje principal es:

$$N = \left(\frac{48,1}{695,2} \right)^{\frac{1}{-0,0851}} = 4,3 \times 10^{13} \text{ ciclos}$$

Con el valor obtenido, se determina que el eje principal es muy resistente para soportar los elementos del sistema de trituración y el sistema de transmisión.

4.2.7. Diseño del armazón del molino

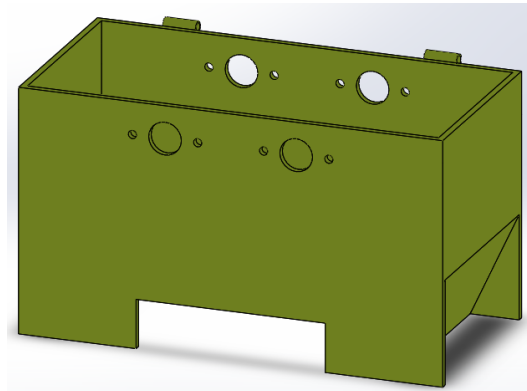
El armazón del molino está formado por el bastidor y la tapa por donde ingresa el producto. El armazón del molino actual se presenta en la siguiente figura.

De acuerdo a ese diseño y a la alternativa de tipo de armazón que se seleccionó, se diseñara un nuevo armazón donde irán los ejes y así completar la estructura del molino de martillos

4.2.7.1. Diseño del bastidor

El bastidor es la carcasa donde va alojado el sistema de trituración, chumaceras, etc. También soporta la dinámica del dicho sistema y es donde se encuentran las guías para la criba.

El material que utiliza el bastidor es de hierro fundido gris. Las dimensiones del bastidor se muestran en la figura. El diseño completo se presenta en el Plano 07.



*Figura 54: Armazón de Molino
Fuente: (SOLIDWORKS, 2016)*

4.2.7.2. Diseño de la tapa

La tapa es un elemento muy importante para el sistema de trituración, ya que permite que el producto no salga disparado hacia afuera, esta debe cumplir las siguientes características:

- Geometría de la tapa
- Tipo de material, para que garantice la resistencia de sus paredes cuando los impacten contra ella

- Las dimensiones están en función a las dimensiones del bastidor.

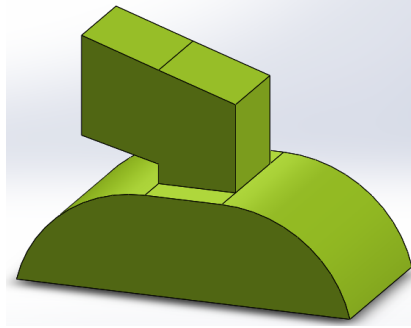


Figura 55: Tapa de Armazón
Fuente: (SOLIDWORKS, 2016)

4.2.8. Diseño de transportador sin fin

Para el diseño del transportador sin fin se considera el catalogo Sprocket y Gear INC. Calculamos la potencia requerida para el diseño. La empresa produce 15 tn saliente del molino de martillos durante 8 horas diarias, se tiene:

$$\frac{15 \text{ Tn}}{8 \text{ horas}} = 1,8 \frac{\text{Tn}}{\text{hora}} = 1800 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ lb}}{0,453592} = 3968,3 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$$

La capacidad obtenida es de la tolva de almacenamiento, dicha cantidad es la que ingresa al molino de martillos, por lo tanto:

Calculamos el volumen

$$\text{volumen} = \frac{\text{masa}}{\text{densidad}}$$

Según el Anexo 6, para maíz en semilla quebrado se tiene $\rho = 45 \frac{\text{lb}}{\text{pie}^3}$

$$V = \frac{3968,3}{45} = 88,2 \frac{\text{pie}^3}{\text{h}} (\text{capacidad})$$

Calculamos la potencia requerida, con la ecuación siguiente:

- Potencia para mover el transportador vacio

$$HP_f = \frac{LNF_d f_b}{1\,000\,000}$$

Velocidad requerida

$$v_r = \frac{\text{capacidad}}{\text{capacidad a 1 rpm}}$$

De acuerdo al Anexo 7, a 1 rpm el transportador manejará 1,5 Tn/m³

$$v_r = \frac{88,2}{1,5} = 59 \text{ rpm}$$

Con $L = 1 \text{ m} = 3,3 \text{ pies}$, $F_d = 18$, $F_b = 1$, entonces

$$HP_f = \frac{59 * 3,3 * 18 * 1}{1\,000\,000} = 3,5 \times 10^{-3}$$

- Potencia para mover el material

$$HP_m = \frac{CLWF_fF_mF_p}{1\,000\,000}$$

Con $F_f = 1$, $F_m = 0,7$, $F_p = 1$. Entonces

$$HP_m = \frac{88,2 * 3,3 * 45 * 1 * 0,7 * 1}{1\,000\,000} = 9,17 \times 10^{-3}$$

- Potencia total

$$HP_{total} = \frac{(HP_f + HP_m)F_o}{e}$$

Con $F_o = 3$, y $e = 0,9$ (tabla 1.17)

$$HP_{total} = \frac{(3,5 \times 10^{-3} + 9,17 \times 10^{-3}) * 3}{0,9} = 0,04$$

Se requieren 0,04 HP para transportar 88,2 pies cúbicos por hora granos de maíz en un transportador de 1 m de longitud. Por lo tanto se debe utilizar un motor de 0,5 HP.

El sinfín tendrá un material de acero inoxidable, con un diámetro del helicoidal de 6 pulg., se diseñara el transportador sin fin con los parámetros del Anexo 8.

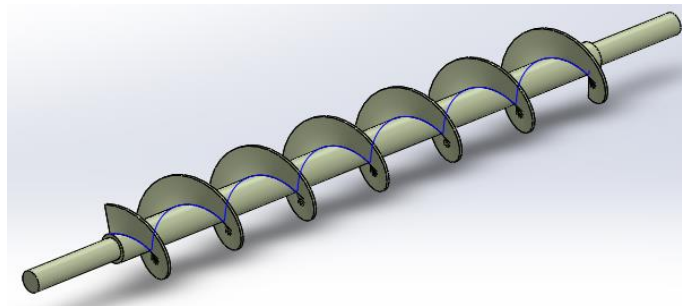


Figura 56: Tornillo Sinfín
Fuente: (SOLIDWORKS, 2016)

Para la artesa o carcaza de sinfín, se utiliza el Anexo 9, considerando las dimensiones estándar. Las dimensiones de entrada y salida del producto, debe ser igual a las dimensiones de la tolva del molino actual y de la tapa del molino de martillos, como se observa en la siguiente figura.

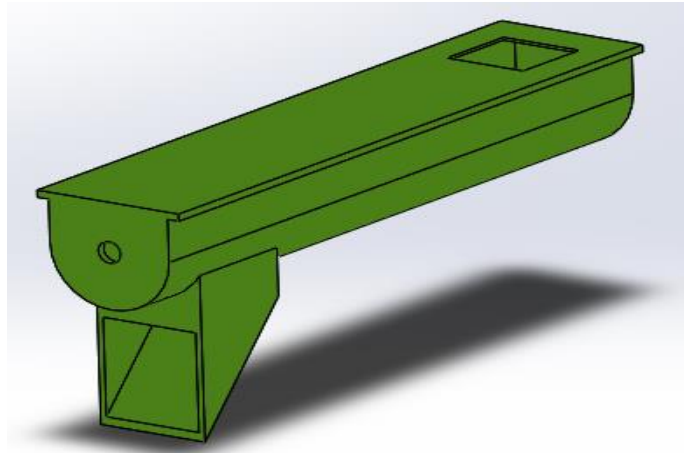


Figura 57: Armazón del Transportador
Fuente: (SOLIDWORKS, 2016)

Finalmente el transportador sinfín queda como se ve en la siguiente figura. Las dimensiones y características completas se ven en el Plano 8.

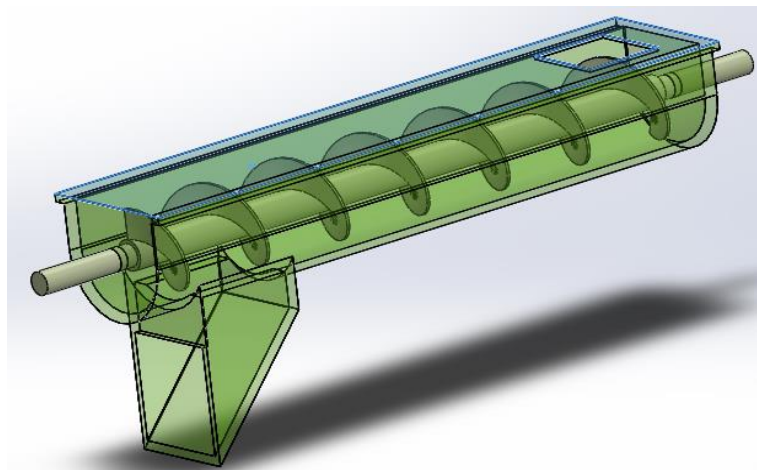


Figura 58: Transportador Sinfín
Fuente: (SOLIDWORKS, 2016)

4.2.9. Indicador OEE y Capacidad mecánico

- Capacidad del molino

$$W_I = \frac{44,5 \times 1,1}{(Pi)^{0,23}(g/r)^{0,82} \left[\frac{10}{\sqrt{L_f}} - \frac{10}{\sqrt{L_i}} \right]}$$

$$\frac{g}{r} = \frac{0,313 \times 10^5 \frac{granos}{min}}{3000 rpm} = 10,43 \frac{granos}{rev}$$

Según los datos de la empresa, se obtuvo:

$$Pi = \frac{3}{8}'' = 0,009525 m$$

$$L_f = 5 mm = 0,005 m$$

$$L_i = 6,4 mm = 0,0064 m$$

$$W_I = 0,84 KWh/Tn$$

Por lo tanto

$$W = W_I \left(\frac{100}{L_f} \right)^{0,5} \left(\frac{r^{0,5} - 1}{r^{0,5}} \right)$$

$$W = 10,85 KWh/Tn$$

Entonces la capacidad

$$CP = \frac{P}{W} = 2,1 Tn/hora$$

- Rendimiento mecánico

$$\eta = \frac{G * R^2 * n^3 * e * f}{8 * 100\,000 * P_m}$$

$$\text{Con } v_c = 23 \frac{m}{s}, f = 0,008$$

$$\eta = 0,93 = 93 \%$$

- Indicador OEE

De acuerdo al rediseño electromecánico del molino de martillos, se realizó un control de mantenimiento anual del mes mayo 2018 al mes abril 2019, para determinar si la producción ha mejorado o aumentado mediante el indicador OEE, como se realizó para el diagnóstico de la maquina actual. Se obtuvieron datos presentados en el Anexo 11. Obteniendo lo siguiente:

Tabla 28 Efectividad OEE rediseño molino

Tiempo teórico de producción (horas)		
2504		
Tiempo Disponible		Paradas Planificadas
2375		129
Tiempo Operativo		Pérdida de Disponibilidad
2318		57
Tiempo Operativo Neto	Pérdida de Rendimiento	
2189	129	
Tiempo Productivo	Pérdida de Calidad	
2132	57	

Fuente: Elaboración Propia

$$Disponibilidad = \frac{\text{Tiempo Operativo}}{\text{Tiempo Disponible}} = 0,976 \times 100 = 97,6\%$$

$$Rendimiento = \frac{\text{Tiempo Operativo neto}}{\text{Tiempo Operativo}} = 0,944 \times 100 = 94,4\%$$

$$Calidad = \frac{\text{Tiempo Productivo}}{\text{Tiempo Operativo neto}} = 0,974 \times 100 = 97,4\%$$

$$OEE = 89,8\%$$

Por lo tanto, se determina que el OEE con el nuevo rediseño y el sistema de control llega a un 89.8%, el cual quiere decir que se encuentra en una clasificación BUENA, lo que significa que el rediseño eleva la producción a un nivel competitivo.

El diseño de los nuevos componentes del molino de martillos se presenta en el ensamble de la siguiente figura

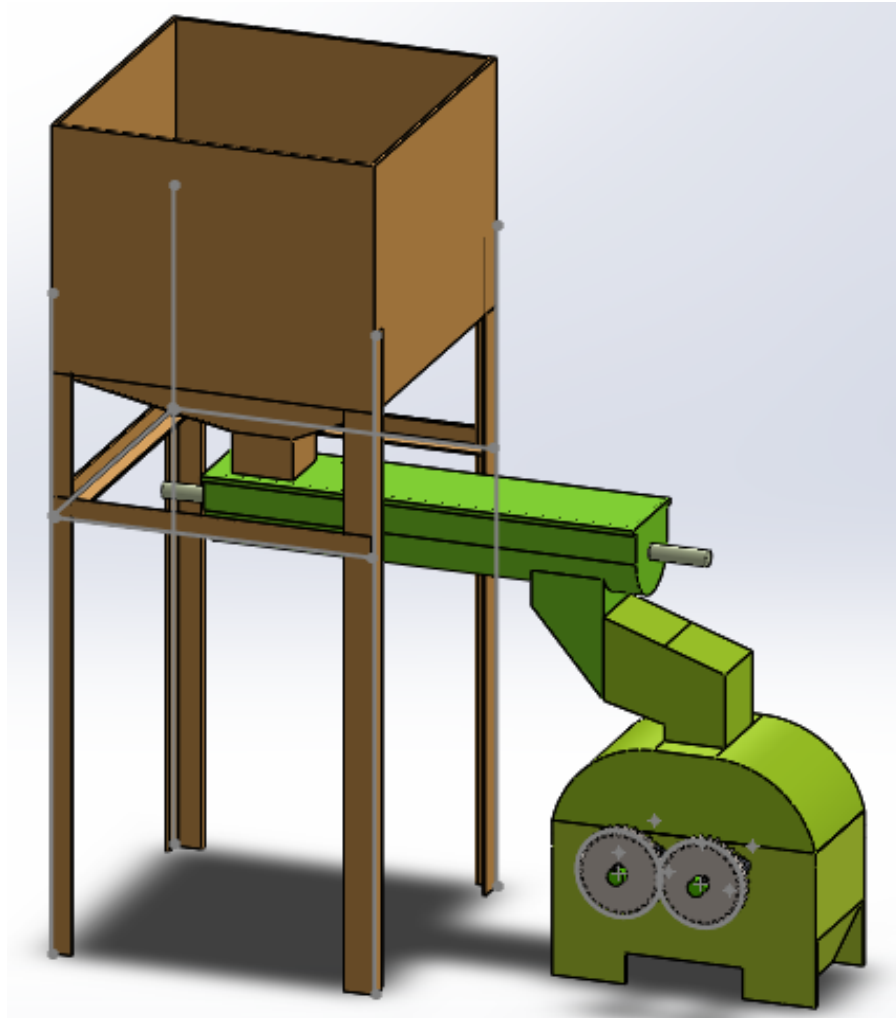


Figura 59: Rediseño Final del Molino
Fuente: (SOLIDWORKS, 2016)

V. Simulación (Análisis Estático Estructural)

El análisis por el método de elementos finitos, se realiza mediante el software Solidworks determinando los esfuerzos de Von Mises y el factor de seguridad de cada pieza.

5.1. Martillos

Se realiza una comparación de los martillos de la maquina actual de la empresa y los martillos del nuevo diseño. Teniendo en cuenta las fuerzas tangenciales:

$$F_{c1} = 4 \text{ N} \quad F_{c2} = 2,2 \text{ N}$$

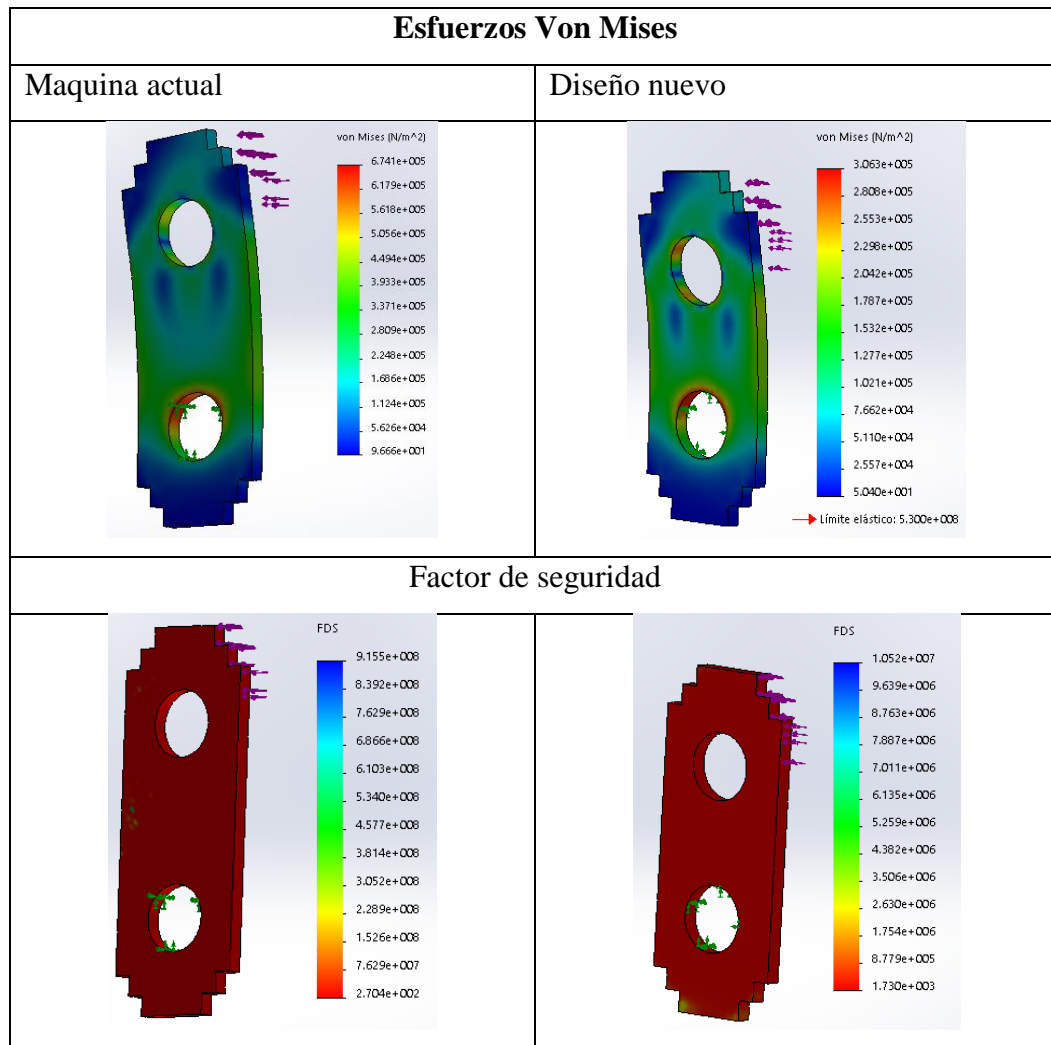


Figura 60: Análisis Estático de Martillos
Fuente: (SOLIDWORKS, 2016)

5.2.Discos

Considerando que: en cada orificio existe una tracción debido a las fuerzas centrífugas de los martillos, por lo tanto, en cada orificio habrá una fuerza equivalente a dos fuerzas centrífugas de un martillo. Por lo tanto

$$F_{D1} = 2 * 1124,41 = 2248.82 \text{ N} , \quad F_{D2} = 2 * 582.4 = 1164.8 \text{ N}$$

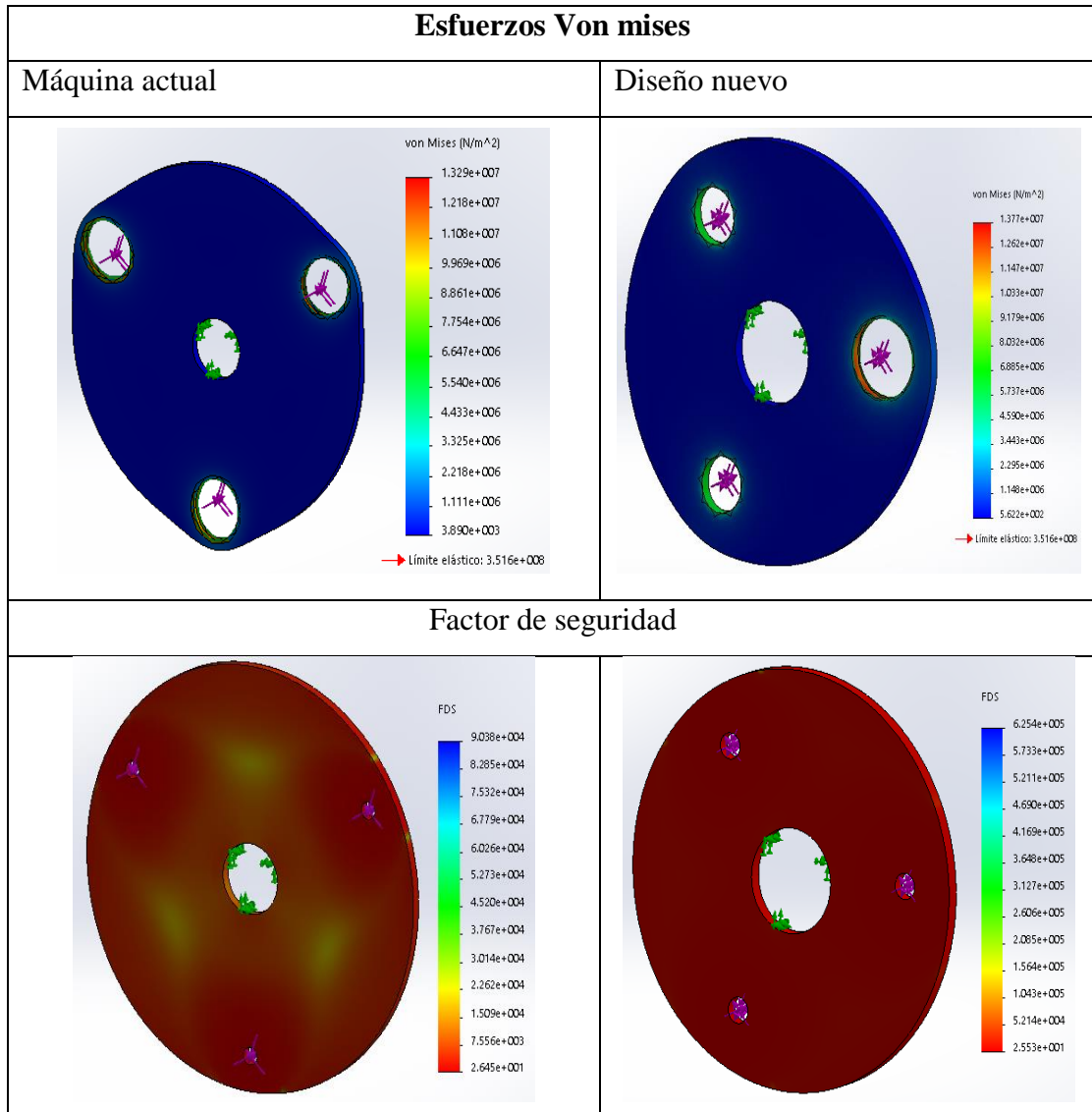


Figura 61: Análisis Estático de Discos
Fuente: (SOLIDWORKS, 2016)

5.3.Eje principal

En los ejes principales se aplican las cargas producidas por cada componente, como se calculó anteriormente, se tiene:

EJE PRINCIPAL DEL MOLINO ACTUAL

$$F_{P1} = 326,75 \text{ N} \quad , \quad F_{P2} = 63,48 \text{ N}$$

EJE PRINCIPAL DEL NUEVO DISEÑO

$$F_{P1} = 197 \text{ N} \quad , \quad F_{P2} = 1243 \text{ N}$$

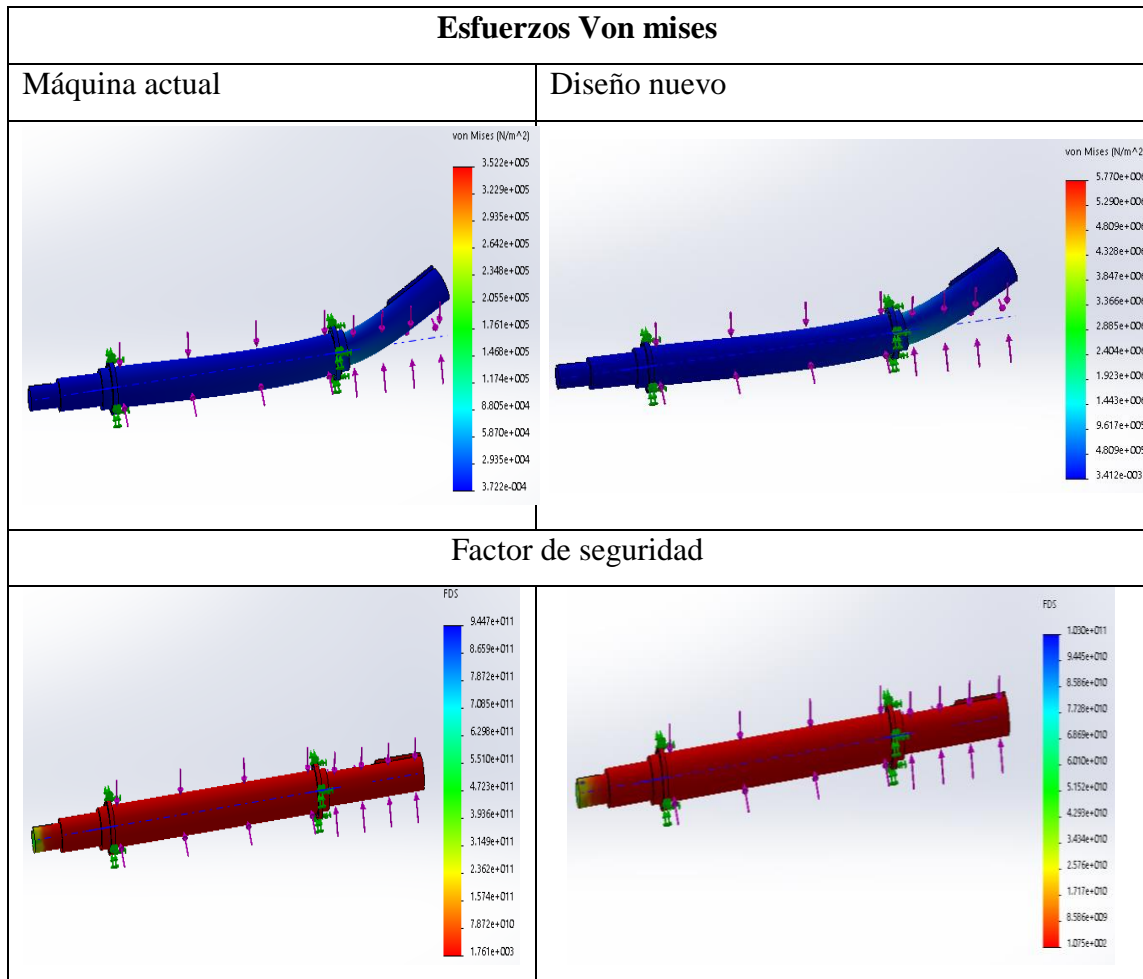


Figura 62: Análisis Estático de Ejes Principales

Fuente: (SOLIDWORKS, 2016)

VI. SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO

Para esta etapa de la investigación se tiene que realizar un análisis del proceso del molino de martillos, como anteriormente se identificaron las fallas, se pasará a determinar los componentes eléctricos que influyen en el proceso para la implementación de un sistema de control automático.

Como se sabe el molino utiliza tableros con señales digitales, pulsadores ON/OFF, por lo que se realizara la selección de un PLC mediante el catálogo de la empresa Schneider, al igual que los siguientes instrumentos a utilizar para este sistema de control:

- **Sensor de corriente:** este dispositivo servirá para detectar algún problema de sobrecorriente en el molino de martillos, este sensor a su vez enviara una señal a un variador de velocidad, que tendrá como función regular la entrada del producto con un tornillo sin fin diseñado anteriormente.
- **Variador de velocidad:** este dispositivo servirá para regular la entrada de producto mediante el tornillo sin fin.
- **Sensor de nivel:** este sensor permitirá identificar el nivel máximo de maíz en la tolva, su función será enviar una señal al motor de un elevador de cangilones almacenamiento para apagarlo cuando la tolva se encuentre al nivel máximo.

6.1.Características eléctricas del molino

Las características identificadas en el molino se detallan a continuación

- **Motor eléctrico del molino de martillos**

De acuerdo con la selección del motor eléctrico para el rediseño del molino y al catálogo ABB, se eligió un motor de inducción NEMA PREMIUM de 30 HP y 1800 RPM, porque es el que más cumple con las características de rediseño del molino. Podemos ver las características del motor seleccionado en el Anexo 12.



Figura 63: Motor Eléctrico ABB

Fuente: (ABB, 2017)

- Circuito del motor

El motor tiene una conexión triángulo-estrella, se realizó el circuito de mando y de fuerza con el programa CADESIMU, como se muestra en la siguiente figura.

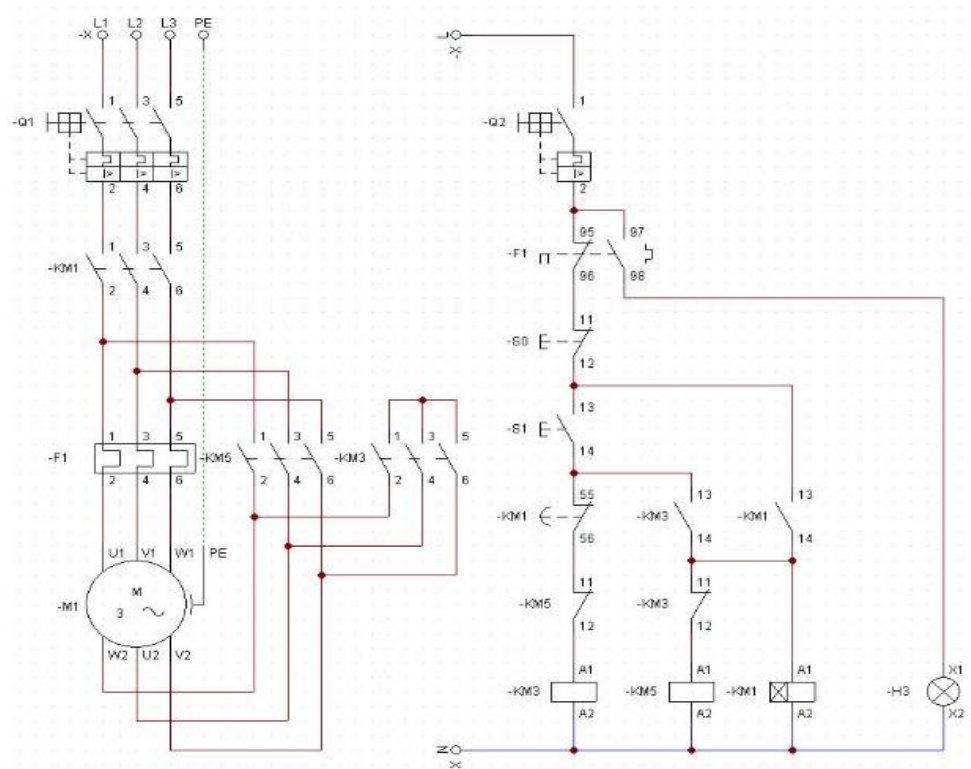


Figura 64: Circuito Estrella-Triángulo

Fuente: (CADESIMU, 2016)

- Tablero de control

El tablero de control de la empresa consta de dispositivos, donde el operador puede manipular pulsadores y verificar las lámparas de señalización

- Termo magnética
- Relé térmico
- Contactores
- Pulsador de marcha y pulsador de paro
- Lámparas de señalización

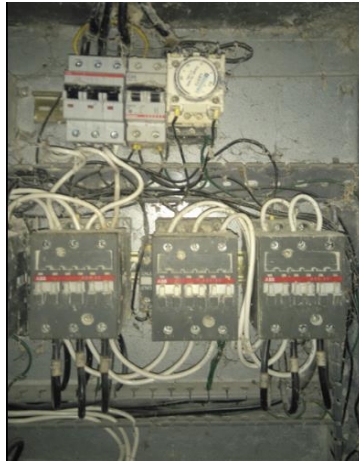


Figura 65: Tablero de Control
Fuente: Molino´s San Antonio de Padua S.A.C

6.2. Selección de dispositivos de control

Para la selección de dispositivos de control se toma en cuenta el catálogo de Schneider, de acuerdo a las características y costos.

6.2.1. Sensor de velocidad

El sensor de velocidad tendrá la función de detectar cualquier cambio en la rotación e identificando si existe una sobrecarga en el molino de martillos. El sensor seleccionado de acuerdo al catálogo de Schneider es un detector de proximidad inductivo Osisense XS, y sus características se presentan en la siguiente figura.



Cilindricos / Precableados (L=2m) para control de rotación, deslizamiento y sobrecarga									
Alcance		Salida		N° de Hilos	Alimentación	IP	F ajustable (ciclos/min)	Referencia	Precio S/.
Ø mm	Sn (mm)	Función	Tipo						
30	10	NC	Relé	2	24-210VDC	67	6..150	XSAV11801	773.20
					24-240VAC		120..3000	XSAV12801	773.20

Figura 66: Sensor de Velocidad
Fuente: (Schneider, 2015)

6.2.2. Variador de velocidad

El variador de velocidad servirá para regular la rotación en el motor que utilizara el tornillo sinfín. El funcionamiento de este variador será debido al sensor situado en el molino de martillos, cuando detecte un problema de sobrecarga en el molino, este enviara una señal al variador de velocidad para que regule la entrada de producto mediante el tornillo sinfín, de esta manera se tendrá un tiempo para reparar problema en el molino. La selección del variador de velocidad según el catálogo de Schneider, es un variador Altivar 12 por cumplir con las condiciones para este tipo de máquinas como es el tornillo sinfín.

Las características del variador de velocidad se presentan a continuación



Altivar 12

Serie ATV12H***M2 de alimentación monofásica 50/60 Hz: 200 -15%...240 V +10% IP20

Motor		Red	ATV12					
Potencia nominal		Corriente de línea	Máxima corriente de salida permanente In	Máxima corriente Transitoria It (60 seg) A	Alto x ancho x profundidad	Referencia	Precio S/.	Cantidad Indivisible
HP	KW	A						
0.5	0.37	4.9	2.4	3.6	143 x 72 x 122	ATV12H037M2	654.00	1
0.75	0.55	6.7	3.5	5.3	143 x 72 x 132	ATV12H055M2	690.00	1
1	0.75	8.5	4.2	6.3	143 x 72 x 132	ATV12H075M2	733.00	1
2	1.5	14.9	7.5	11.2	142 x 105 x 157	ATV12HU15M2	1,022.00	1
3	2.2	20.2	10	15	142 x 105 x 157	ATV12HU22M2	1,270.00	1

Figura 67: Variador de Velocidad

Fuente: (Schneider, 2015)

Como se observa se seleccionó el modelo ATV12H037M2, por la potencia del motor que tendrá el tornillo sinfín calculada anteriormente.

6.2.3. Sensor de nivel

El sensor de nivel se activará cuando el variador de velocidad empiece a cerrar el flujo de maíz mediante el transportador sinfín y genere acumulación de producto en la tolva de descarga. Cuando el nivel del producto haya llegado a su límite, el sensor enviará una señal al motor de 3 HP ubicado en un elevador de cangilones, para que este se apague y permita realizar los respectivos ajustes en el molino de martillos.

De acuerdo con el catálogo de Schneider, se seleccionó un relé de control de nivel Zelio IP30 con detección mediante sondas resistivas, las características se presentan a continuación.



Relés de control de nivel - IP30								
Control		Tempo- rización	Alimentación		Salidas	Referencia	Precio S/.	Cantidad Indivisible
Función	Escalas de sensibilidad		Nominal Un trifásica	Límites				
Detección mediante sondas resistivas	250Ω...5kΩ (baja) 5kΩ...100kΩ (standard) 50kΩ...1MΩ (Alta)	0.1...5 s	24...240 VDC-VAC	-15%,+10%	2NANC,5A	RM35LM33MW	379.30	1
Sonda de control de nivel de líquidos	-	-	-	-	-	LA9RM201	161.20	1

Figura 68: Sensor de Nivel
Fuente: (Schneider, 2015)

6.3. Selección del PLC

Para la selección del PLC adecuado para este sistema de control, se consideró lo siguiente:

Tabla 29: Entradas/Salidas de Molino

ENTRADAS	SALIDAS
<ul style="list-style-type: none"> - Pulsador de marcha 1 - Pulsador de paro 1 - Relé térmico - Sensor de corriente - Sensor de nivel - Mando alterno - Pulsador de marcha 2 - Pulsador de paro 2 - Pulsador de marcha 3 - Pulsador de paro 3 	<ul style="list-style-type: none"> - Línea - Conexión triangulo - Conexión estrella - Variador de velocidad - Motor de 3HP - 3 lámparas verdes - 3 lámparas rojas

Fuente: Elaboración Propia

Con las entradas y salidas identificadas el proceso de producción donde involucra el molino de martillos, se procederá a seleccionar el tipo d PLC que se utilizara para el sistema de control.



Figura 69: PLC Schneider

Fuente: (Schneider, 2015)

De acuerdo con el catálogo de Schneider se seleccionó un PLC Modicon M221 Compacto con 24 entradas y 16 salidas. Las características son las siguientes:

Características	Modicon TM221C...	Modicon TM221M...
Dimensiones AlxAnxPr (mm)	16 E/S: 95x90x70, 24 E/S: 110x90x70, 40 E/S: 163x90x70	16 E/S: 70x90x70 32 E/S: 70x90x70
Voltaje de alimentación	24 VDC, 100...240 VAC (50/60Hz)	24 VDC
Entradas analógicas	2 entradas incorporadas en cada controlador TM221M... y TM221C...	
	De 2 a 4 entradas analógicas opcionales con cartuchos TMC2...	-
Ethernet integrado	Sí en TM221CE...	Sí en TM221ME...
Puerto Serie	1 incorporado y 1 opcional (cartucho TMC2SL1)	De 1 a 2 incorporados
Cartuchos	Una ranura para 1 o 2 cartuchos según el modelo	-
Características de Hardware	<ul style="list-style-type: none"> • Interruptor de Run/Stop • Ranura para la tarjeta de memoria SD • Código QR para acceso directo a documentación técnica 	

Figura 70: Características de PLC

Fuente: (Schneider, 2015)

El mando alternativo que se instalara en el PLC seleccionado, tendrá la función de permitir al operador manipular el PLC en caso se dé un mantenimiento en el proceso del molino de martillos.

Finalmente, se realiza una comparación de la máquina actual y el rediseño, para verificar el impacto que genera esta nueva máquina rendimiento y producción.

Tabla 30 Comparación de máquinas

Molino de martillos actual	Nuevo diseño
Tiene un diseño simple y de fácil manejo	Tiene un mejor diseño pero un poco complejo
Utiliza fajas y poleas para generar potencia en el eje	Utiliza engranajes para obtener más potencia en la transmisión
Utiliza tipos de materiales menos resistentes	Utiliza materiales con mayor resistencia y de mejor maquinabilidad
Abarca baja capacidad para el ingreso del grano	Tiene una capacidad mayor para el ingreso del grano
Mayor costo de producción, debido a la necesidad de mano de obra	Menor costo de producción, debido a la implementación de un sistema de control automático
Motor WEG 25 HP, 1760 RPM	MOTOR ABB 30HP, 1800 RPM
EFICIENCIA: 55%	EFICIENCIA: 93%
OEE: 74.5 %	OEE: 89.8%

Fuente: Elaboración Propia

VII. CONCLUSIONES

- Se realizó un diagnóstico de la situación actual del molino de martillos de la empresa Molino's San Antonio de Padua S.A.C, identificando problemas tanto mecánicas/eléctricas como productivas, teniendo en cuenta también la capacidad del molino de martillos. Para ellos se utilizó el indicador OEE para medir la disponibilidad, el rendimiento y la calidad actual en la que opera el molino de martillos, obteniendo una efectividad regular de 74,5% lo cual indica, que genera considerables pérdidas económicas y baja competitividad.
- Se utilizó matrices morfológicas para la selección de los parámetros necesarios para el rediseño del molino de martillos, esto permitió determinar las características y dimensiones de los nuevos componentes del rediseño, discos, martillos, armazón, sistema de trasmisión. Para el diseño de los martillos se consideró cambiar el tipo de material para tener una mayor resistencia que el material antes usado por la máquina de la empresa, el material que se utilizó es el acero AISI 1045.
- Se diseñó un sistema de transmisión de potencia con engranajes así como un segundo eje con características similares al de la maquina actual, para ese diseño se realizaron matrices morfológicas seleccionando el tipo de transmisión de potencia y los componentes necesarios para el nuevo diseño.
- Se seleccionó un PLC M221 y otros dispositivos de control para el proceso del molino de martillos, esto sirve para tener control sobre los mecanismos y evitar problemas al momento de su funcionamiento en la producción.
- La capacidad en la máquina actual es de 1,2 Tn/h, y con el nuevo diseño logra una capacidad de 2,1 Tn/h, con eficiencias mecánicas de 55% para la máquina actual y 93% para el diseño nuevo, lo cual se ve un incremento en la eficiencia como se planteó anteriormente, también se obtuvo una efectividad de 89,8% lo que significa que está en una buena competitividad, esto determina que el rediseño del molino si es necesario para aumentar la eficiencia en la trituración de maíz en la empresa Molino's San Antonio de Padua S.A.C

VIII. RECOMENDACIONES

- Este proyecto se centra en el proceso de trituración del molino de martillos, y como se identifica en el diagrama de flujo del Anexo 1, se recomienda realizar un análisis de todos los procesos existentes en la empresa, ya que sería de gran ayuda para aplicar todos los conocimientos de ingeniería en una planta procesadora (maíz, arroz, menestras, balanceados, etc).
- La trituración de granos secos en el molino de martillo genera gran cantidad de polvo o harina que no es tan aprovechada cuando se expande, provocando molestias en los colaboradores y generando contaminación al ambiente, es por eso que se recomienda la implementación de un sistema de absorción de harina, para minimizar la contaminación (filtro de mangas, extractor de polvos)
- La empresa no utiliza un sistema de mantenimiento para toda su maquinaria, el cual dificulta realizar un análisis detallado de sus problemas y fallas, por lo que se recomienda implementar un plan de mantenimiento para que la empresa obtenga mejores rendimientos tanto en producción como en sus máquinas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] O. Niño de Guzman, “Diseño de un Molino de Martillo de Doble Eje”, Tesis Ing. Mec. Electricista, Depto. de Ingeniería Mecánica, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú, 2006.
- [2] I. R. Cuadrado, J.L. Rueda, “Diseño y Construcción de un Molino de Martillos”, Tesis Ing. Mecánico, Universidad San Francisco de Quito, Quito, Ecuador, Mayo 2009.
- [3] M. A. Montenegro, “Automatización de Máquina Procesadora de Harina de Maíz y Arroz en la Industria Agrícola”, Propuesta de Automatización, Corporación Universitaria Minuto de Dios, Soacha, Colombia, 2011.
- [4] J. S. PÉREZ, “Diseño e Implementación de un Sistema de Automatización para Mejorar la Producción de Carretos en la Empresa La Casa de Tornillo SRL.”, Tesis Ing. Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, Perú, Agosto 2011.
- [5] Universidad Industrial de Santander, E. Arenas, J. G. León, Ejes y Árboles Manual de Diseño, 2012.
- [6] J. Estrella, B. Fonseca, “Repotenciación, construcción, montaje y pruebas de una planta de Balanceado de la comunidad Valle del Anzú provincia de Pastaza”, Tesis Ing. Mecánico, Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2009.
- [7] C. Casilimas, R. Poveda, “Implementación del sistema de indicadores de productividad y mejoramiento OEE en la línea tubería en Corpacero S.A.”, Tesis Tecnólogo Industrial, Facultad Tecnológica Tecnología Industrial, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia, 2012.
- [8] D. Bermeo, “Diseño y Construcción de un Molino de Martillos Triturador de granos (Agraria, Dirección de Información, 2012) para granjas avícolas”, Tesis Ing. en Electromecánica, Dpto. de Eléctrica y Electrónica, Universidad de las Fuerzas Armadas, Latacunga, 2014.
- [9] ABB. (2017). Productos de automatización y control. 44.
- [10] Agraria, D. d. (2012). Cadena agroproductiva del Maíz Amarillo Duro. LIMA: CENDOC.

- [11] Bolton, W. (2006). Ingenieria de Control. México: Alfaomega Grupo Editor S.A.
- [12] Dávila, F. A. (2005). Diseño de Elementos de Máquinas II. Lima.
- [13] Duda, W. (2003). Manual Tecnológico del Cemento. Barcelona: España.
- [14] Martin. (s.f.). Catálogo 4000, Sprocket & Gear INC. Mexico.
- [15] Schneider, E. (2015). Catalogo de precios.
- [16] Shigley. (2008). Diseño en Ingenieria Mécanica. México: McGraw-Hill.
- [17] Warren McCabe, J. S. (1998). Operaciones unitarias en Ingenieria Quimica. Madrid: McGraw-Hill.
- [18] E. Pino, “Software para Diseño de Transportadores de Tornillo Sinfin”, Tesis Ing. Mecánico, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador, 2005.
- [19] J. Cervantes, “Diseño e Implementación del Sistema de Control Automático para la Dosificación de Mineral de Hierro en el Molino de Crudo en la Sección de Materias Primas de Cemex Colombia S.A. Planta los Patios Norte de Santander”, Tesis Ing. Electrónico, Facultad de Ingenierías Fisicomecanicas, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2010.

ANEXOS

Diagrama de flujo del proceso de maíz



Fuente: Elaboración Propia

Anexo 2

Propiedades mecánicas de materiales ferrosos

Número ASTM	Resistencia a la tensión S_{ut} , kpsi	Resistencia a la compresión S_{uc} , kpsi	Módulo de ruptura por cortante S_{su} , kpsi	Módulo de elasticidad, Mpsi		Límite de resistencia a la fatiga* S_e , kpsi	Dureza Brinell H_B	Factor de concentración al esfuerzo a la fatiga K_f
				Tensión†	Torsión			
20	22	83	26	9.6-14	3.9-5.6	10	156	1.00
25	26	97	32	11.5-14.8	4.6-6.0	11.5	174	1.05
30	31	109	40	13-16.4	5.2-6.6	14	201	1.10
35	36.5	124	48.5	14.5-17.2	5.8-6.9	16	212	1.15
40	42.5	140	57	16-20	6.4-7.8	18.5	235	1.25
50	52.5	164	73	18.8-22.8	7.2-8.0	21.5	262	1.35
60	62.5	187.5	88.5	20.4-23.5	7.8-8.5	24.5	302	1.50

*Piezas pulidas o maquinadas.

†El módulo de elasticidad del hierro fundido en compresión corresponde de manera muy cercana al valor superior en el intervalo dado para tensión y es un valor más constante que el de tensión.

Fuente: (Shigley, 2008)

Anexo 3

Resistencias mínimas de aceros

1	2	3	4	5	6	7	8
UNS núm.	SAE y/o AISI núm.	Procesamiento	Resistencia a la tensión, MPa (kpsi)	Resistencia a la fluencia, MPa (kpsi)	Elongación en 2 pulg, %	Reducción en área, %	Dureza Brinell
G10060	1006	HR	300 (43)	170 (24)	30	55	86
		CD	330 (48)	280 (41)	20	45	95
G10100	1010	HR	320 (47)	180 (26)	28	50	95
		CD	370 (53)	300 (44)	20	40	105
G10150	1015	HR	340 (50)	190 (27.5)	28	50	101
		CD	390 (56)	320 (47)	18	40	111
G10180	1018	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
		CD	440 (64)	370 (54)	15	40	126
G10200	1020	HR	380 (55)	210 (30)	25	50	111
		CD	470 (68)	390 (57)	15	40	131
G10300	1030	HR	470 (68)	260 (37.5)	20	42	137
		CD	520 (76)	440 (64)	12	35	149
G10350	1035	HR	500 (72)	270 (39.5)	18	40	143
		CD	550 (80)	460 (67)	12	35	163
G10400	1040	HR	520 (76)	290 (42)	18	40	149
		CD	590 (85)	490 (71)	12	35	170
G10450	1045	HR	570 (82)	310 (45)	16	40	163
		CD	630 (91)	530 (77)	12	35	179
G10500	1050	HR	620 (90)	340 (49.5)	15	35	179
		CD	690 (100)	580 (84)	10	30	197
G10600	1060	HR	680 (98)	370 (54)	12	30	201
G10800	1080	HR	770 (112)	420 (61.5)	10	25	229
G10950	1095	HR	830 (120)	460 (66)	10	25	248

Fuente: (Shigley, 2008)

Anexo 4

Factor de acabado superficial (K_a)

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{utr} kpsi	S_{utr} MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

Fuente: (Shigley, 2008)

Anexo 5

Factor de confiabilidad

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_a	Factor de confiabilidad k_a
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Fuente: (Shigley, 2008)

Anexo 6





Características de materiales

Material	Peso lb por pie cúbico	Código de Material	Selección de Redamiento Intermedio	Serie de Componentes	Factor de Material F _m	Carga de Artesa
Hule peletizado (pellets)	50-55	D3-45	L-S-B	2	1.5	30A
Hulla (ver Carbon, Antracita)	-	-	-	-	-	-
Ilmenita, mineral	140-160	D3-37	H	3	2	15
Jabón Detergente	15-50	B6-35FQ	L-S-B	1	0.8	30A
Jabón en escamas	5-15	B6-35QXY	L-S-B	1	0.6	30A
Jabón, hojuelas	15-25	C1/2-35Q	L-S-B	1	0.6	30A
Jabón, perlas o granulado	15-35	B6-35Q	L-S-B	1	0.6	30A
Jabón, polvo	20-25	B6-25X	L-S-B	1	0.9	45
Kafir (Maíz)	40-45	C1/2-25	H	3	0.5	45
Kryolith (ver Criolita)	-	-	-	-	-	-
Lactato de Calcio	26-29	D3-45QTR	L-S	2	0.6	30A
Lactosa	32	A40-35PU	S	1	0.6	30A
Ladrillo, molido 1/8"	100-120	B6-37	H	3	2.2	15
Leche, en polvo	20-45	B6-25PM	S	1	0.5	45
Leche, entera, en polvo	20-36	B6-35PUX	S	1	0.5	30A
Leche, malteada	27-30	A40-45PX	S	1	0.9	30A
Leche, seca, en hojuelas	5-6	B6-35PUY	S	1	0.4	30A
Lignito (ver Lignito de Carbón)	-	-	-	-	-	-
Umanita café, mineral	120	C1/2-47	H	3	1.7	15
Linaza (ver Lino)	-	-	-	-	-	-
Lindano (Hexacloro Benceno)	-	-	-	-	-	-
Lino, semilla	43-45	B6-35X	L-S-B	1	0.4	30A
Lino, semilla, harina	25-45	B6-45W	L-S	1	0.4	30A
Lino, semilla, torta	48-50	D7-45W	L-S	2	0.7	30A
Litargirio (Óxido de Plomo)	-	-	-	-	-	-
Lithopone	45-50	A325-35MR	L-S	1	1	30A
Lodos de drenaje secos	40-50	E-47TW	H	3	0.8	15
Lodos de drenaje, secos, molidos	45-55	B-46S	H	2	0.8	30B
Lúpulo, agotado, húmedo	50-55	D3-45V	L-S	2	1.5	30A
Lúpulo, agotado, Seco	35	D3-35	L-S-B	2	1	30A
Madera, Astilla Cribada	10-30	D3-45VY	L-S	2	0.6	30A
Madera, Harina	16-36	B6-35N	L-S	1	0.4	30A
Madera, Viruta	8-16	E-45VY	L-S	2	1.5	30A
Maíz, medio molido	40-45	B6-35P	L-S-B	1	0.5	30A
Maíz, germen	21	B6-35PY	L-S-B	1	0.4	30A
Maíz, grano*	56	E-35	L-S	2		30A
Maíz, harina	32-40	B6-35P	L-S	1	0.5	30A
Maíz, mazorca, entera*	12-15	E-35	L-S	2		30A
Maíz (cote, molido)	17	C1/2-25Y	L-S-B	1	0.6	45
Maíz en semilla, quebrado	40-50	B6-25P	L-S-B	1	0.7	45
Maíz Machacado, Seco	35-50	C1/2-25	L-S-B	1	0.4	45

Fuente: (Catálogo 4000, Sprocket & Gear INC.; Martin)

Anexo 7

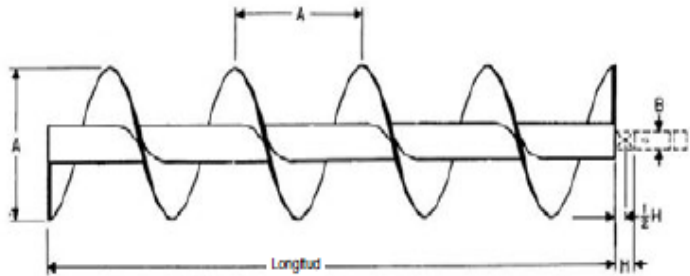
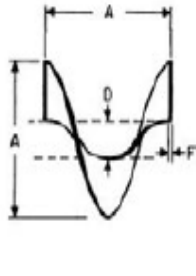
Capacidades para transportadores helicoidales

Carga de Artesa		Diámetro del Helicoidal (Pulgadas)	Capacidad Plus Cúbicos por Hora (Paso Completo)		Máx. RPM
			A 1 RPM	A Máx. RPM	
45%		4	0.62	114	184
		6	2.23	368	165
		9	8.20	1270	155
		10	11.40	1710	150
		12	19.40	2820	145
		14	31.20	4370	140
		16	46.70	6060	130
		18	67.60	8120	120
		20	93.70	10300	110
		24	164.00	16400	100
		30	323.00	29070	90
30% A		4	0.41	53	130
		6	1.49	180	120
		9	5.45	545	100
		10	7.57	720	95
		12	12.90	1160	90
		14	20.80	1770	85
		16	31.20	2500	80
		18	45.00	3380	75
		20	62.80	4370	70
		24	109.00	7100	65
		30	216.00	12960	60
30% B		4	0.41	29	72
		6	1.49	90	60
		9	5.45	300	55
		10	7.60	418	55
		12	12.90	645	50
		14	20.80	1040	50
		16	31.20	1400	45
		18	45.00	2025	45
		20	62.80	2500	40
		24	109.00	4360	40
		30	216.00	7560	35
15%		4	0.21	15	72
		6	0.75	45	60
		9	2.72	150	55
		10	3.80	210	55
		12	6.40	325	50
		14	10.40	520	50
		16	15.60	700	45
		18	22.50	1010	45
		20	31.20	1250	40
		24	54.60	2180	40
		30	108.00	3780	35

Fuente: (Catálogo 4000, Sprocket & Gear INC.; Martin)

Anexo 8

Helicoidales seccionales

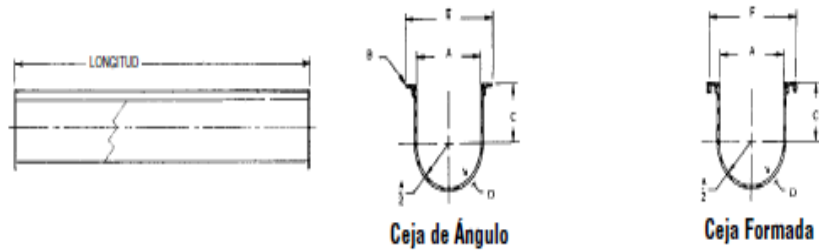



A	B	Número de Parte, Helicoidal Completo	Número de Parte, Sólo Espiral	Tamaño de Tubo		F	H	Longitud Estándar Pies-Pulg.	Peso Promedio lb			Espirales Aprox. Por Pie
Diámetro del Helicoidal	Diámetro del Eje			Interior	D Exterior	Espesor del Helicoidal	Ancho del Bujé del Colgante		Longitud Estándar	Por Pie	Espiral c/u	
6	1 1/8 1"	6S312- ^a 6S316- ^a	6SF312- ^a 6SF316- ^a	2 2	2 1/8 2 1/8	3/16 1/8	2 2	9-10 9-10	75 90	7.5 8.0	1.7 2.2	2.0 2.0
9	1 1/8	9S312- ^a	9SF312- ^a	2	2 1/8	3/16	2	9-10	95	9.5	4.3	1.33
	1 1/8	9S316- ^a	9SF316- ^a	2	2 1/8	1/8	2	9-10	130	13.0	5.5	1.33
	1 1/8	9S324- ^a	9SF324- ^a	2	2 1/8	1/8	2	9-10	160	16.0	7.9	1.33
	2	9S412- ^a	9SF412- ^a	2 1/2	2 1/8	3/16	2	9-10	115	11.5	4.3	1.33
	2	9S416- ^a	9SF416- ^a	2 1/2	2 1/8	1/8	2	9-10	130	13.0	5.5	1.33
	2	9S424- ^a	9SF424- ^a	2 1/2	2 1/8	1/8	2	9-10	160	16.0	7.9	1.33
10	1 1/8	10S312- ^a	10SF312- ^a	2	2 1/8	3/16	2	9-10	120	12.0	5.0	1.2
	1 1/8	10S316- ^a	10SF316- ^a	2	2 1/8	1/8	2	9-10	135	13.5	6.7	1.2
	1 1/8	10S324- ^a	10SF324- ^a	2	2 1/8	1/8	2	9-10	165	16.5	8.7	1.2
	2	10S412- ^a	10SF412- ^a	2 1/2	2 1/8	3/16	2	9-10	120	12.0	5.0	1.2
	2	10S416- ^a	10SF416- ^a	2 1/2	2 1/8	1/8	2	9-10	135	13.5	6.7	1.2
	2	10S424- ^a	10SF424- ^a	2 1/2	2 1/8	1/8	2	9-10	165	16.5	8.7	1.2
12	2	12S412- ^a	12SF412- ^a	2 1/2	2 1/8	3/16	2	11-10	156	13.0	7.2	1.0
	2	12S416- ^a	12SF416- ^a	2 1/2	2 1/8	1/8	2	11-10	204	17.0	9.7	1.0
	2	12S424- ^a	12SF424- ^a	2 1/2	2 1/8	1/8	2	11-10	268	22.3	12.7	1.0
	2 1/8	12S509- ^a	12SF509- ^a	3	3 1/8	Cal. 10	3	11-9	160	14.0	5.7	1.0
	2 1/8	12S512- ^a	12SF512- ^a	3	3 1/8	3/16	3	11-9	178	14.8	7.2	1.0
	2 1/8	12S516- ^a	12SF516- ^a	3	3 1/8	1/8	3	11-9	210	17.5	9.7	1.0
	2 1/8	12S524- ^a	12SF524- ^a	3	3 1/8	1/8	3	11-9	274	22.5	12.7	1.0
	3	12S612- ^a	12SF612- ^a	3 1/2	4	3/16	3	11-9	198	16.5	7.2	1.0
	3	12S616- ^a	12SF616- ^a	3 1/2	4	1/8	3	11-9	216	18.0	9.7	1.0
	3	12S624- ^a	12SF624- ^a	3 1/2	4	1/8	3	11-9	290	24.0	12.7	1.0

Fuente: (Catálogo 4000, Sprocket & Gear INC.; Martin)

Anexo 9

Artesas estándar



Ceja de Ángulo

Ceja Formada

Diámetro del Transportador	D	Ceja de Ángulo	Artesa con Ceja de Ángulo				Artesa con Ceja Formada ▲				A	B	C	E	F	
			Peso lb		Peso lb		Número de Parte	Peso lb		Peso lb						
			Largo 10"	Largo 5"	Largo 12"	Largo 8"		Largo 10"	Largo 5"	Largo 12"						Largo 8"
4	16 Cal.	4CTA16	53	29	—	—	4CTF16	41	23	—	—	5	1½	3%	7½	7½
4	14	4CTA14	60	33	—	—	4CTF14	50	28	—	—					
4	12	4CTA12	78	42	—	—	4CTF12	70	38	—	—					
6	16 Cal.	6CTA16	67	44	—	—	6CTF16	55	32	—	—	7	1½	4%	9½	9½
6	14	6CTA14	78	49	—	—	6CTF14	67	38	—	—				9½	9½
6	12	6CTA12	101	60	—	—	6CTF12	91	50	—	—				9½	9½
6	10	6CTA10	123	73	—	—	6CTF10	117	64	—	—				9½	9½
6	¾	6CTA7	164	86	—	—	6CTF7	150	79	—	—				9½	9½
9	16 Cal.	9CTA16	113	66	—	—	9CTF16	83	51	—	—	10	1½	6%	13½	13½
9	14	9CTA14	127	73	—	—	9CTF14	99	59	—	—				13½	13½
9	12	9CTA12	156	87	—	—	9CTF12	132	75	—	—				13½	13½
9	10	9CTA10	176	102	—	—	9CTF10	164	91	—	—				13½	13½
9	¾	9CTA7	230	124	—	—	9CTF7	214	116	—	—				13½	13½
9	½	9CTA3	296	152	—	—	9CTF3	276	147	—	—				13½	13½
10	16 Cal.	10CTA16	118	69	—	—	10CTF16	88	54	—	—	11	1½	6%	14½	14½
10	14	10CTA14	133	76	—	—	10CTF14	105	62	—	—				14½	14½
10	12	10CTA12	164	92	—	—	10CTF12	140	80	—	—				14½	14½
10	10	10CTA10	178	102	—	—	10CTF10	167	91	—	—				14½	14½
10	¾	10CTA7	233	131	—	—	10CTF7	217	123	—	—				14½	14½
10	½	10CTA3	306	163	—	—	10CTF3	296	158	—	—				14½	14½
12	12 Cal.	12CTA12	197	113	236	135	12CTF12	164	95	197	114	13	2	7%	17½	17½
12	10	12CTA10	234	133	281	160	12CTF10	187	117	224	140				17½	17½
12	¾	12CTA7	294	164	353	197	12CTF7	272	150	326	180				17½	17½
12	½	12CTA3	372	203	446	244	12CTF3	357	194	428	233				17½	17½
14	12 Cal.	14CTA12	214	121	257	145	14CTF12	183	102	219	122	15	2	9%	19½	19½
14	10	14CTA10	258	143	309	172	14CTF10	207	127	248	152				19½	19½
14	¾	14CTA7	328	180	394	216	14CTF7	304	168	365	202				19½	19½
14	½	14CTA3	418	224	501	269	14CTF3	403	215	483	258				19½	19½
16	12 Cal.	16CTA12	238	133	285	160	16CTF12	206	107	247	128	17	2	10%	21½	21½
16	10	16CTA10	288	159	345	191	16CTF10	234	144	281	173				21½	21½
16	¾	16CTA7	368	200	442	240	16CTF7	345	188	414	226				21½	21½
16	½	16CTA3	471	243	565	291	16CTF3	455	228	546	273				21½	21½
18	12 Cal.	18CTA12	252	159	302	191	18CTF12	240	133	288	160	19	2½	12%	24½	24½
18	10	18CTA10	353	170	423	204	18CTF10	269	165	323	198				24½	24½
18	¾	18CTA7	444	243	533	291	18CTF7	394	217	473	260				24½	24½
18	½	18CTA3	559	298	671	358	18CTF3	520	275	624	330				24½	24½
20	10 Cal.	20CTA10	383	228	460	274	20CTF10	296	190	355	228	21	2½	13%	26½	26½
20	¾	20CTA7	484	271	581	325	20CTF7	434	247	521	296				26½	26½
20	½	20CTA3	612	334	734	401	20CTF3	573	315	687	378				26½	26½
24	10 Cal.	24CTA10	443	255	531	306	24CTF10	384	227	461	272	25	2½	16%	30½	30½
24	¾	24CTA7	563	319	676	383	24CTF7	514	293	617	352				30½	30½
24	½	24CTA3	717	363	860	435	24CTF3	678	339	813	406				30½	30½

Todas las artesas están disponibles en otros materiales como acero inoxidable, acero resistente a la abrasión, etc.

Fuente: (Catálogo 4000, Sprocket & Gear INC.; Martin)

Anexo 10

Problemas en la producción de molino actual

FECHA	EQUIPO	CAUSAS	FRECUENCIA 365 DÍAS	TIEMPO (MINUTOS)	TIEMPO TOTAL MINUTOS	TIPO DE PÉRDIDA
01/05/2018	Molino de martillos	Cambio de Rodamientos	1	90	90	Planificada
02/05/2018	Molino de martillos	Producción defectuosa	1	200	200	Calidad
03/05/2018	Molino de martillos	Desgaste de martillos. Cambio de pieza	1	180	180	Planificada
04/05/2018	Molino de martillos	Parada por cambio de proceso. Inactividad	1	60	60	Planificada
05/05/2018	Molino de martillos	Limpieza de Molino	2	60	120	Planificada
07/05/2018	Molino de martillos	Polución en fajas y poleas	1	480	480	Rendimiento
08/05/2018	Molino de martillos	Materiales innecesarios en el molino	10	10	100	Rendimiento
09/05/2018	Molino de martillos	Parada por polución	2	60	120	Calidad
10/05/2018	Molino de martillos	Sobrecarga de materia prima	5	35	175	Rendimiento
11/05/2018	Molino de martillos	Parada por falta de personal	1	480	480	Disponibilidad
12/05/2018	Molino de martillos	Cambio de faja	1	60	60	Disponibilidad
14/05/2018	Molino de martillos	Cambio de criba rota	1	60	60	Disponibilidad
15/05/2018	Molino de martillos	Parada por abastecimiento en Silo de almacenamiento	2	120	240	Disponibilidad
16/05/2018	Molino de martillos	Cambio de Eje	1	480	480	Disponibilidad
18/05/2018	Molino de martillos	Producción defectuosa	1	240	240	Calidad
21/05/2018	Molino de martillos	Limpieza de Molino	2	60	120	Planificada
22/05/2018	Molino de martillos	Parada por corte de energía eléctrica	1	240	240	Disponibilidad
23/05/2018	Molino de martillos	Polución en fajas y poleas	1	200	200	Rendimiento
24/05/2018	Molino de martillos	Materiales innecesarios en el molino	10	12	120	Rendimiento
25/05/2018	Molino de martillos	Parada por polución	1	30	30	Calidad
26/05/2018	Molino de martillos	Sobrecarga de materia prima	6	35	210	Rendimiento
28/05/2018	Molino de martillos	Cambio de faja	1	100	100	Disponibilidad

29/05/2018	Molino de martillos	Recalentamiento de motor	1	90	90	Rendimiento
30/05/2018	Molino de martillos	Cambio de criba rota	1	60	60	Disponibilidad
31/05/2018	Molino de martillos	Parada por abastecimiento en Silo de almacenamiento	2	90	180	Disponibilidad
05/06/2018	Molino de martillos	Parada por cambio de proceso. Inactividad	2	60	120	Planificada
06/06/2018	Molino de martillos	Limpieza de Molino	2	60	120	Planificada
07/06/2018	Molino de martillos	Parada por corte de energía eléctrica	1	180	180	Disponibilidad
08/06/2018	Molino de martillos	Polución en fajas y poleas	1	240	240	Rendimiento
09/06/2018	Molino de martillos	Alineamiento de Eje. Vibración	1	180	180	Rendimiento
11/06/2018	Molino de martillos	Sobrecarga de materia prima	7	35	245	Rendimiento
13/06/2018	Molino de martillos	Cambio de faja	1	60	60	Disponibilidad
14/06/2018	Molino de martillos	Recalentamiento de motor	1	60	60	Rendimiento
15/06/2018	Molino de martillos	Cambio de criba rota	1	50	50	Disponibilidad
16/06/2018	Molino de martillos	Parada por falta de materia prima	1	480	480	Disponibilidad
19/06/2018	Molino de martillos	Producción defectuosa	1	300	300	Calidad
21/06/2018	Molino de martillos	Parada por cambio de proceso. Inactividad	1	60	60	Planificada
22/06/2018	Molino de martillos	Limpieza de Molino	2	60	120	Planificada
23/06/2018	Molino de martillos	Parada por corte de energía eléctrica	1	180	180	Disponibilidad
25/06/2018	Molino de martillos	Materiales innecesarios en el molino	8	14	112	Rendimiento
26/06/2018	Molino de martillos	Parada por polución	3	35	105	Calidad
27/06/2018	Molino de martillos	Sobrecarga de materia prima	6	35	210	Rendimiento
28/06/2018	Molino de martillos	Parada por falta de personal	1	240	240	Disponibilidad
29/06/2018	Molino de martillos	Cambio de faja	1	70	70	Disponibilidad
30/06/2018	Molino de martillos	Recalentamiento de motor	1	90	90	Rendimiento
02/07/2018	Molino de martillos	Parada por abastecimiento en Silo de almacenamiento	1	110	110	Disponibilidad
05/07/2018	Molino de martillos	Producción defectuosa	1	240	240	Calidad
06/07/2018	Molino de martillos	Desgaste de martillos. Cambio de pieza	1	120	120	Planificada
07/07/2018	Molino de martillos	Parada por cambio de proceso. Inactividad	1	60	60	Planificada

09/07/2018	Molino de martillos	Parada por corte de energía eléctrica	1	200	200	Disponibilidad
10/07/2018	Molino de martillos	Polución en fajas y poleas	1	280	280	Rendimiento
11/07/2018	Molino de martillos	Materiales innecesarios en el molino	10	10	100	Rendimiento
12/07/2018	Molino de martillos	Parada por polución	6	40	240	Calidad
13/07/2018	Molino de martillos	Sobrecarga de materia prima	6	35	210	Rendimiento
14/07/2018	Molino de martillos	Parada por falta de personal	1	260	260	Disponibilidad
16/07/2018	Molino de martillos	Recalentamiento de motor	1	60	60	Rendimiento
17/07/2018	Molino de martillos	Cambio de criba rota	1	40	40	Disponibilidad
18/07/2018	Molino de martillos	Parada por abastecimiento en Silo de almacenamiento	1	90	90	Disponibilidad
21/07/2018	Molino de martillos	Producción defectuosa	1	240	240	Calidad
23/07/2018	Molino de martillos	Parada por cambio de proceso. Inactividad	2	60	120	Planificada
24/07/2018	Molino de martillos	Limpieza de Molino	2	60	120	Planificada
25/07/2018	Molino de martillos	Parada por corte de energía eléctrica	1	190	190	Disponibilidad
26/07/2018	Molino de martillos	Polución en fajas y poleas	1	240	240	Rendimiento
27/07/2018	Molino de martillos	Materiales innecesarios en el molino	15	10	150	Rendimiento
30/07/2018	Molino de martillos	Parada por falta de personal	1	300	300	Disponibilidad
31/07/2018	Molino de martillos	Cambio de faja	1	60	60	Disponibilidad
01/08/2018	Molino de martillos	Recalentamiento de motor	1	80	80	Rendimiento
02/08/2018	Molino de martillos	Cambio de criba rota	1	80	80	Disponibilidad
03/08/2018	Molino de martillos	Parada por falta de materia prima	1	240	240	Disponibilidad
06/08/2018	Molino de martillos	Producción defectuosa	1	480	480	Calidad
07/08/2018	Molino de martillos	Desgaste de martillos. Cambio de pieza	1	140	140	Planificada
08/08/2018	Molino de martillos	Parada por cambio de proceso. Inactividad	1	60	60	Planificada
09/08/2018	Molino de martillos	Limpieza de Molino	2	60	120	Planificada
10/08/2018	Molino de martillos	Parada por corte de energía eléctrica	1	200	200	Disponibilidad
11/08/2018	Molino de martillos	Polución en fajas y poleas	1	350	350	Rendimiento
13/08/2018	Molino de martillos	Parada por polución	2	45	90	Calidad

14/08/2018	Molino de martillos	Sobrecarga de materia prima	3	35	105	Rendimiento
15/08/2018	Molino de martillos	Parada por falta de personal	1	280	280	Disponibilidad
16/08/2018	Molino de martillos	Cambio de faja	1	110	110	Disponibilidad
17/08/2018	Molino de martillos	Recalentamiento de motor	1	100	100	Rendimiento
18/08/2018	Molino de martillos	Cambio de criba rota	1	60	60	Disponibilidad
22/08/2018	Molino de martillos	Producción defectuosa	1	250	250	Calidad
24/08/2018	Molino de martillos	Parada por cambio de proceso. Inactividad	2	60	120	Planificada
25/08/2018	Molino de martillos	Limpieza de Molino	2	60	120	Planificada
27/08/2018	Molino de martillos	Polución en fajas y poleas	1	480	480	Rendimiento
28/08/2018	Molino de martillos	Materiales innecesarios en el molino	10	11	110	Rendimiento
29/08/2018	Molino de martillos	Parada por polución	1	50	50	Calidad
30/08/2018	Molino de martillos	Sobrecarga de materia prima	5	35	175	Rendimiento
31/08/2018	Molino de martillos	Parada por falta de personal	1	200	200	Disponibilidad
01/09/2018	Molino de martillos	Cambio de faja	1	80	80	Disponibilidad
03/09/2018	Molino de martillos	Cambio de criba rota	1	40	40	Disponibilidad
04/09/2018	Molino de martillos	Parada por abastecimiento en Silo de almacenamiento	1	120	120	Disponibilidad
06/09/2018	Molino de martillos	Cambio de Rodamientos	1	90	90	Planificada
07/09/2018	Molino de martillos	Producción defectuosa	1	480	480	Calidad
08/09/2018	Molino de martillos	Desgaste de martillos. Cambio de pieza	1	120	120	Planificada
10/09/2018	Molino de martillos	Limpieza de Molino	2	60	120	Planificada
11/09/2018	Molino de martillos	Parada por corte de energía eléctrica	1	300	300	Disponibilidad
12/09/2018	Molino de martillos	Polución en fajas y poleas	1	220	220	Rendimiento
13/09/2018	Molino de martillos	Alineamiento de Eje. Vibración	1	180	180	Rendimiento
14/09/2018	Molino de martillos	Parada por polución	3	30	90	Calidad
15/09/2018	Molino de martillos	Sobrecarga de materia prima	4	35	140	Rendimiento
17/09/2018	Molino de martillos	Parada por falta de materia prima	1	240	240	Disponibilidad
18/09/2018	Molino de martillos	Recalentamiento de motor	1	80	80	Rendimiento

19/09/2018	Molino de martillos	Cambio de criba rota	1	40	40	Disponibilidad
20/09/2018	Molino de martillos	Parada por abastecimiento en Silo de almacenamiento	1	90	90	Disponibilidad
25/09/2018	Molino de martillos	Parada por cambio de proceso. Inactividad	1	60	60	Planificada
26/09/2018	Molino de martillos	Limpieza de Molino	2	60	120	Planificada
27/09/2018	Molino de martillos	Parada por corte de energía eléctrica	1	180	180	Disponibilidad
28/09/2018	Molino de martillos	Polución en fajas y poleas	1	340	340	Rendimiento
29/09/2018	Molino de martillos	Materiales innecesarios en el molino	8	12	96	Rendimiento
01/10/2018	Molino de martillos	Sobrecarga de materia prima	4	35	140	Rendimiento
02/10/2018	Molino de martillos	Parada por falta de personal	1	320	320	Disponibilidad
03/10/2018	Molino de martillos	Cambio de faja	1	80	80	Disponibilidad
04/10/2018	Molino de martillos	Recalentamiento de motor	1	60	60	Rendimiento
05/10/2018	Molino de martillos	Cambio de criba rota	1	80	80	Disponibilidad
06/10/2018	Molino de martillos	Parada por abastecimiento en Silo de almacenamiento	1	120	120	Disponibilidad
09/10/2018	Molino de martillos	Producción defectuosa	1	260	260	Calidad
10/10/2018	Molino de martillos	Desgaste de martillos. Cambio de pieza	1	140	140	Planificada
11/10/2018	Molino de martillos	Parada por cambio de proceso. Inactividad	1	60	60	Planificada
12/10/2018	Molino de martillos	Limpieza de Molino	2	60	120	Planificada
13/10/2018	Molino de martillos	Parada por corte de energía eléctrica	1	240	240	Disponibilidad
15/10/2018	Molino de martillos	Materiales innecesarios en el molino	10	10	100	Rendimiento
16/10/2018	Molino de martillos	Parada por polución	1	45	45	Calidad
17/10/2018	Molino de martillos	Sobrecarga de materia prima	3	35	105	Rendimiento
18/10/2018	Molino de martillos	Parada por falta de personal	1	200	200	Disponibilidad
19/10/2018	Molino de martillos	Cambio de faja	1	60	60	Disponibilidad
20/10/2018	Molino de martillos	Recalentamiento de motor	1	60	60	Rendimiento
22/10/2018	Molino de martillos	Parada por abastecimiento en Silo de almacenamiento	1	90	90	Disponibilidad
25/10/2018	Molino de martillos	Producción defectuosa	1	300	300	Calidad
27/10/2018	Molino de martillos	Parada por cambio de proceso. Inactividad	2	60	120	Planificada

29/10/2018	Molino de martillos	Parada por corte de energía eléctrica	1	180	180	Disponibilidad
30/10/2018	Molino de martillos	Polución en fajas y poleas	1	350	350	Rendimiento
31/10/2018	Molino de martillos	Materiales innecesarios en el molino	10	12	120	Rendimiento
01/11/2018	Molino de martillos	Parada por polución	2	40	80	Calidad
02/11/2018	Molino de martillos	Sobrecarga de materia prima	5	35	175	Rendimiento
03/11/2018	Molino de martillos	Parada por falta de personal	1	180	180	Disponibilidad
05/11/2018	Molino de martillos	Recalentamiento de motor	1	70	70	Rendimiento
06/11/2018	Molino de martillos	Parada por falta de materia prima	1	180	180	Disponibilidad
07/11/2018	Molino de martillos	Parada por abastecimiento en Silo de almacenamiento	1	90	90	Disponibilidad
10/11/2018	Molino de martillos	Producción defectuosa	1	240	240	Calidad
12/11/2018	Molino de martillos	Parada por cambio de proceso. Inactividad	1	60	60	Planificada
13/11/2018	Molino de martillos	Limpieza de Molino	2	60	120	Planificada
14/11/2018	Molino de martillos	Parada por corte de energía eléctrica	1	480	480	Disponibilidad
15/11/2018	Molino de martillos	Polución en fajas y poleas	1	480	480	Rendimiento
16/11/2018	Molino de martillos	Materiales innecesarios en el molino	8	10	80	Rendimiento
17/11/2018	Molino de martillos	Parada por polución	4	35	140	Calidad
19/11/2018	Molino de martillos	Parada por falta de personal	1	190	190	Disponibilidad
20/11/2018	Molino de martillos	Cambio de faja	1	100	100	Disponibilidad
21/11/2018	Molino de martillos	Recalentamiento de motor	1	90	90	Rendimiento
22/11/2018	Molino de martillos	Cambio de criba rota	1	60	60	Disponibilidad
23/11/2018	Molino de martillos	Parada por abastecimiento en Silo de almacenamiento	1	120	120	Disponibilidad
26/11/2018	Molino de martillos	Producción defectuosa	1	480	480	Calidad
27/11/2018	Molino de martillos	Desgaste de martillos. Cambio de pieza	1	180	180	Planificada
28/11/2018	Molino de martillos	Parada por cambio de proceso. Inactividad	2	60	120	Planificada
29/11/2018	Molino de martillos	Limpieza de Molino	2	60	120	Planificada
30/11/2018	Molino de martillos	Parada por corte de energía eléctrica	1	180	180	Disponibilidad
01/12/2018	Molino de martillos	Polución en fajas y poleas	1	220	220	Rendimiento

03/12/2018	Molino de martillos	Parada por polución	2	45	90	Calidad
04/12/2018	Molino de martillos	Sobrecarga de materia prima	5	35	175	Rendimiento
05/12/2018	Molino de martillos	Parada por falta de personal	1	180	180	Disponibilidad
06/12/2018	Molino de martillos	Cambio de faja	1	70	70	Disponibilidad
07/12/2018	Molino de martillos	Recalentamiento de motor	1	80	80	Rendimiento
08/12/2018	Molino de martillos	Cambio de criba rota	1	40	40	Disponibilidad
12/12/2018	Molino de martillos	Producción defectuosa	1	280	280	Calidad
14/12/2018	Molino de martillos	Parada por cambio de proceso. Inactividad	1	60	60	Planificada
15/12/2018	Molino de martillos	Limpieza de Molino	2	60	120	Planificada
17/12/2018	Molino de martillos	Polución en fajas y poleas	1	240	240	Rendimiento
18/12/2018	Molino de martillos	Materiales innecesarios en el molino	7	14	98	Rendimiento
19/12/2018	Molino de martillos	Parada por polución	2	50	100	Calidad
20/12/2018	Molino de martillos	Sobrecarga de materia prima	4	35	140	Rendimiento
21/12/2018	Molino de martillos	Parada por falta de personal	1	150	150	Disponibilidad
22/12/2018	Molino de martillos	Cambio de faja	1	90	90	Disponibilidad
24/12/2018	Molino de martillos	Parada por falta de materia prima	1	240	240	Disponibilidad
28/12/2018	Molino de martillos	Producción defectuosa	1	300	300	Calidad
29/12/2018	Molino de martillos	Desgaste de martillos. Cambio de pieza	1	150	150	Planificada
31/12/2018	Molino de martillos	Limpieza de Molino	2	60	120	Planificada
02/01/2019	Molino de martillos	Polución en fajas y poleas	1	360	360	Rendimiento
03/01/2019	Molino de martillos	Alineamiento de Eje. Vibración	1	180	180	Rendimiento
04/01/2019	Molino de martillos	Parada por polución	4	60	240	Calidad
05/01/2019	Molino de martillos	Sobrecarga de materia prima	4	35	140	Rendimiento
07/01/2019	Molino de martillos	Cambio de faja	1	60	60	Disponibilidad
08/01/2019	Molino de martillos	Recalentamiento de motor	1	60	60	Rendimiento
09/01/2019	Molino de martillos	Cambio de criba rota	1	50	50	Disponibilidad
10/01/2019	Molino de martillos	Parada por falta de materia prima	1	200	200	Disponibilidad

15/01/2019	Molino de martillos	Parada por cambio de proceso. Inactividad	2	60	120	Planificada
16/01/2019	Molino de martillos	Limpieza de Molino	2	60	120	Planificada
17/01/2019	Molino de martillos	Parada por corte de energía eléctrica	1	180	180	Disponibilidad
18/01/2019	Molino de martillos	Polución en fajas y poleas	1	240	240	Rendimiento
19/01/2019	Molino de martillos	Materiales innecesarios en el molino	8	15	120	Rendimiento
21/01/2019	Molino de martillos	Sobrecarga de materia prima	7	35	245	Rendimiento
22/01/2019	Molino de martillos	Parada por falta de personal	1	200	200	Disponibilidad
23/01/2019	Molino de martillos	Cambio de faja	1	70	70	Disponibilidad
24/01/2019	Molino de martillos	Recalentamiento de motor	1	90	90	Rendimiento
25/01/2019	Molino de martillos	Parada por falta de materia prima	1	160	160	Disponibilidad
26/01/2019	Molino de martillos	Parada por abastecimiento en Silo de almacenamiento	1	120	120	Disponibilidad
28/01/2019	Molino de martillos	Cambio de Rodamientos	1	90	90	Planificada
29/01/2019	Molino de martillos	Producción defectuosa	1	360	360	Calidad
30/01/2019	Molino de martillos	Desgaste de martillos. Cambio de pieza	1	120	120	Planificada
31/01/2019	Molino de martillos	Parada por cambio de proceso. Inactividad	1	60	60	Planificada
01/02/2019	Molino de martillos	Limpieza de Molino	2	60	120	Planificada
02/02/2019	Molino de martillos	Parada por corte de energía eléctrica	1	180	180	Disponibilidad
04/02/2019	Molino de martillos	Materiales innecesarios en el molino	10	13	130	Rendimiento
05/02/2019	Molino de martillos	Parada por polución	3	60	180	Calidad
06/02/2019	Molino de martillos	Sobrecarga de materia prima	6	35	210	Rendimiento
07/02/2019	Molino de martillos	Parada por falta de personal	1	240	240	Disponibilidad
08/02/2019	Molino de martillos	Cambio de faja	1	90	90	Disponibilidad
09/02/2019	Molino de martillos	Recalentamiento de motor	1	100	100	Rendimiento
11/02/2019	Molino de martillos	Parada por abastecimiento en Silo de almacenamiento	1	90	90	Disponibilidad
14/02/2019	Molino de martillos	Producción defectuosa	1	350	350	Calidad
16/02/2019	Molino de martillos	Parada por cambio de proceso. Inactividad	1	60	60	Planificada
18/02/2019	Molino de martillos	Parada por corte de energía eléctrica	1	480	480	Disponibilidad

19/02/2019	Molino de martillos	Polución en fajas y poleas	1	480	480	Rendimiento
20/02/2019	Molino de martillos	Materiales innecesarios en el molino	5	15	75	Rendimiento
21/02/2019	Molino de martillos	Parada por polución	5	50	250	Calidad
22/02/2019	Molino de martillos	Sobrecarga de materia prima	3	35	105	Rendimiento
23/02/2019	Molino de martillos	Parada por falta de personal	1	360	360	Disponibilidad
25/02/2019	Molino de martillos	Recalentamiento de motor	1	80	80	Rendimiento
26/02/2019	Molino de martillos	Cambio de criba rota	1	50	50	Disponibilidad
27/02/2019	Molino de martillos	Parada por abastecimiento en Silo de almacenamiento	1	120	120	Disponibilidad
02/03/2019	Molino de martillos	Producción defectuosa	1	300	300	Calidad
04/03/2019	Molino de martillos	Parada por cambio de proceso. Inactividad	2	60	120	Planificada
05/03/2019	Molino de martillos	Limpieza de Molino	2	60	120	Planificada
06/03/2019	Molino de martillos	Parada por corte de energía eléctrica	1	300	300	Disponibilidad
07/03/2019	Molino de martillos	Polución en fajas y poleas	1	200	200	Rendimiento
08/03/2019	Molino de martillos	Alineamiento de Eje. Vibración	1	180	180	Rendimiento
09/03/2019	Molino de martillos	Parada por polución	2	50	100	Calidad
11/03/2019	Molino de martillos	Parada por falta de personal	1	100	100	Disponibilidad
12/03/2019	Molino de martillos	Cambio de faja	1	60	60	Disponibilidad
13/03/2019	Molino de martillos	Recalentamiento de motor	1	80	80	Rendimiento
14/03/2019	Molino de martillos	Parada por falta de materia prima	1	180	180	Disponibilidad
15/03/2019	Molino de martillos	Parada por abastecimiento en Silo de almacenamiento	1	100	100	Disponibilidad
18/03/2019	Molino de martillos	Producción defectuosa	1	300	300	Calidad
20/03/2019	Molino de martillos	Parada por cambio de proceso. Inactividad	1	60	60	Planificada
21/03/2019	Molino de martillos	Limpieza de Molino	2	60	120	Planificada
22/03/2019	Molino de martillos	Parada por corte de energía eléctrica	1	180	180	Disponibilidad
23/03/2019	Molino de martillos	Polución en fajas y poleas	1	250	250	Rendimiento
25/03/2019	Molino de martillos	Parada por polución	1	60	60	Calidad
26/03/2019	Molino de martillos	Sobrecarga de materia prima	4	35	140	Rendimiento

27/03/2019	Molino de martillos	Parada por falta de personal	1	240	240	Disponibilidad
28/03/2019	Molino de martillos	Cambio de faja	1	80	80	Disponibilidad
29/03/2019	Molino de martillos	Recalentamiento de motor	1	60	60	Rendimiento
30/03/2019	Molino de martillos	Cambio de criba rota	1	60	60	Disponibilidad
03/04/2019	Molino de martillos	Producción defectuosa	1	300	300	Calidad
05/04/2019	Molino de martillos	Parada por cambio de proceso. Inactividad	1	60	60	Planificada
06/04/2019	Molino de martillos	Limpieza de Molino	2	60	120	Planificada
08/04/2019	Molino de martillos	Polución en fajas y poleas	1	210	210	Rendimiento
09/04/2019	Molino de martillos	Materiales innecesarios en el molino	8	14	112	Rendimiento
10/04/2019	Molino de martillos	Parada por polución	2	45	90	Calidad
11/04/2019	Molino de martillos	Sobrecarga de materia prima	6	35	210	Rendimiento
12/04/2019	Molino de martillos	Parada por falta de personal	1	180	180	Disponibilidad
13/04/2019	Molino de martillos	Cambio de faja	1	60	60	Disponibilidad
15/04/2019	Molino de martillos	Cambio de criba rota	1	40	40	Disponibilidad
16/04/2019	Molino de martillos	Parada por abastecimiento en Silo de almacenamiento	1	90	90	Disponibilidad
19/04/2019	Molino de martillos	Producción defectuosa	1	280	280	Calidad
20/04/2019	Molino de martillos	Desgaste de martillos. Cambio de pieza	1	150	150	Planificada
22/04/2019	Molino de martillos	Limpieza de Molino	2	60	120	Planificada
23/04/2019	Molino de martillos	Parada por corte de energía eléctrica	1	240	240	Disponibilidad
24/04/2019	Molino de martillos	Polución en fajas y poleas	1	230	230	Rendimiento
25/04/2019	Molino de martillos	Materiales innecesarios en el molino	9	10	90	Rendimiento
26/04/2019	Molino de martillos	Parada por polución	3	40	120	Calidad
27/04/2019	Molino de martillos	Sobrecarga de materia prima	7	35	245	Rendimiento
29/04/2019	Molino de martillos	Cambio de faja	1	90	90	Disponibilidad
30/04/2019	Molino de martillos	Recalentamiento de motor	1	90	90	Rendimiento
263					42473	

Fuente: Molino's San Antonio de Padua S.A.C

Anexo 11

Problemas en la producción de rediseño molino

FECHA	EQUIPO	CAUSAS	FRECUENCIA 365 DÍAS	TIEMPO (MINUTOS)	TIEMPO TOTAL MINUTOS	TIPO DE PÉRDIDA
01/05/2018	Molino de martillos	Producción defectuosa	1	120	120	Calidad
02/05/2018	Molino de martillos	Desgaste de martillos. Cambio de pieza	1	90	90	Disponibilidad
03/05/2018	Molino de martillos	Parada por cambio de proceso. Inactividad	2	60	120	Planificada
04/05/2018	Molino de martillos	Limpieza de Molino	1	60	60	Planificada
05/05/2018	Molino de martillos	Parada por control automático	1	5	5	Disponibilidad
07/05/2018	Molino de martillos	Mantenimiento al sistema de transmisión de potencia	1	45	45	Planificada
08/05/2018	Molino de martillos	Materiales innecesarios en el molino	2	30	60	Rendimiento
09/05/2018	Molino de martillos	Parada por polución	2	30	60	Calidad
10/05/2018	Molino de martillos	Ajuste automático en el sistema de transmisión	1	10	10	Rendimiento
11/05/2018	Molino de martillos	Parada por falta de personal	1	60	60	Disponibilidad
14/05/2018	Molino de martillos	Recalentamiento de motor	1	60	60	Rendimiento
15/05/2018	Molino de martillos	Cambio de criba	2	40	80	Disponibilidad
16/05/2018	Molino de martillos	Parada por abastecimiento en el pozo de almacenamiento	2	90	180	Disponibilidad
18/05/2018	Molino de martillos	Producción defectuosa	1	120	120	Calidad
21/05/2018	Molino de martillos	Desgaste de martillos. Cambio de pieza	1	90	90	Disponibilidad
22/05/2018	Molino de martillos	Parada por cambio de proceso. Inactividad	2	60	120	Planificada
23/05/2018	Molino de martillos	Limpieza de Molino	1	60	60	Planificada
24/05/2018	Molino de martillos	Parada por control automático	1	5	5	Disponibilidad
25/05/2018	Molino de martillos	Mantenimiento Alimentador Sin Fin	1	30	30	Planificada
26/05/2018	Molino de martillos	Materiales innecesarios en el molino	2	30	60	Rendimiento
28/05/2018	Molino de martillos	Parada por polución	2	30	60	Calidad
29/05/2018	Molino de martillos	Ajuste automático en el sistema de transmisión	1	10	10	Rendimiento

30/05/2018	Molino de martillos	Parada por falta de personal	1	60	60	Disponibilidad
31/05/2018	Molino de martillos	Cambio de rodamientos	1	60	60	Planificada
05/06/2018	Molino de martillos	Recalentamiento de motor	1	60	60	Rendimiento
06/06/2018	Molino de martillos	Cambio de criba	2	40	80	Disponibilidad
07/06/2018	Molino de martillos	Parada por abastecimiento en el pozo de almacenamiento	2	90	180	Disponibilidad
08/06/2018	Molino de martillos	Producción defectuosa	1	120	120	Calidad
09/06/2018	Molino de martillos	Desgaste de martillos. Cambio de pieza	1	90	90	Disponibilidad
11/06/2018	Molino de martillos	Parada por cambio de proceso. Inactividad	2	60	120	Planificada
13/06/2018	Molino de martillos	Limpieza de Molino	1	60	60	Planificada
14/06/2018	Molino de martillos	Parada por control automático	1	5	5	Disponibilidad
15/06/2018	Molino de martillos	Configuración de PLC	1	30	30	Disponibilidad
16/06/2018	Molino de martillos	Materiales innecesarios en el molino	2	30	60	Rendimiento
19/06/2018	Molino de martillos	Parada por polución	2	30	60	Calidad
21/06/2018	Molino de martillos	Ajuste automático en el sistema de transmisión	1	10	10	Rendimiento
22/06/2018	Molino de martillos	Parada por falta de personal	1	60	60	Disponibilidad
25/06/2018	Molino de martillos	Recalentamiento de motor	1	60	60	Rendimiento
26/06/2018	Molino de martillos	Cambio de criba	2	40	80	Disponibilidad
27/06/2018	Molino de martillos	Parada por abastecimiento en el pozo de almacenamiento	2	90	180	Disponibilidad
28/06/2018	Molino de martillos	Producción defectuosa	1	120	120	Calidad
29/06/2018	Molino de martillos	Desgaste de martillos. Cambio de pieza	1	90	90	Disponibilidad
30/06/2018	Molino de martillos	Parada por cambio de proceso. Inactividad	2	60	120	Planificada
02/07/2018	Molino de martillos	Limpieza de Molino	1	60	60	Planificada
05/07/2018	Molino de martillos	Parada por control automático	1	5	5	Disponibilidad
06/07/2018	Molino de martillos	Mantenimiento al sistema de transmisión de potencia	1	45	45	Planificada
07/07/2018	Molino de martillos	Materiales innecesarios en el molino	2	30	60	Rendimiento
09/07/2018	Molino de martillos	Parada por polución	2	30	60	Calidad
10/07/2018	Molino de martillos	Ajuste automático en el sistema de transmisión	1	10	10	Rendimiento

11/07/2018	Molino de martillos	Parada por falta de personal	1	60	60	Disponibilidad
13/07/2018	Molino de martillos	Recalentamiento de motor	1	60	60	Rendimiento
14/07/2018	Molino de martillos	Cambio de criba	2	40	80	Disponibilidad
16/07/2018	Molino de martillos	Parada por abastecimiento en el pozo de almacenamiento	2	90	180	Disponibilidad
17/07/2018	Molino de martillos	Producción defectuosa	1	120	120	Calidad
18/07/2018	Molino de martillos	Desgaste de martillos. Cambio de pieza	1	90	90	Disponibilidad
21/07/2018	Molino de martillos	Parada por cambio de proceso. Inactividad	2	60	120	Planificada
23/07/2018	Molino de martillos	Limpieza de Molino	1	60	60	Planificada
24/07/2018	Molino de martillos	Parada por control automático	1	5	5	Disponibilidad
25/07/2018	Molino de martillos	Mantenimiento Alimentador Sin Fin	1	30	30	Planificada
26/07/2018	Molino de martillos	Materiales innecesarios en el molino	2	30	60	Rendimiento
27/07/2018	Molino de martillos	Parada por polución	2	30	60	Calidad
30/07/2018	Molino de martillos	Ajuste automático en el sistema de transmisión	1	10	10	Rendimiento
31/07/2018	Molino de martillos	Parada por falta de personal	1	60	60	Disponibilidad
01/08/2018	Molino de martillos	Cambio de rodamientos	1	60	60	Planificada
02/08/2018	Molino de martillos	Recalentamiento de motor	1	60	60	Rendimiento
03/08/2018	Molino de martillos	Cambio de criba	2	40	80	Disponibilidad
06/08/2018	Molino de martillos	Parada por abastecimiento en el pozo de almacenamiento	2	90	180	Disponibilidad
07/08/2018	Molino de martillos	Producción defectuosa	1	120	120	Calidad
08/08/2018	Molino de martillos	Desgaste de martillos. Cambio de pieza	1	90	90	Disponibilidad
09/08/2018	Molino de martillos	Parada por cambio de proceso. Inactividad	2	60	120	Planificada
10/08/2018	Molino de martillos	Limpieza de Molino	1	60	60	Planificada
11/08/2018	Molino de martillos	Parada por control automático	1	5	5	Disponibilidad
14/08/2018	Molino de martillos	Materiales innecesarios en el molino	2	30	60	Rendimiento
15/08/2018	Molino de martillos	Parada por polución	2	30	60	Calidad
16/08/2018	Molino de martillos	Ajuste automático en el sistema de transmisión	1	10	10	Rendimiento
17/08/2018	Molino de martillos	Parada por falta de personal	1	60	60	Disponibilidad

18/08/2018	Molino de martillos	Parada por corte de energía	1	20	20	Disponibilidad
22/08/2018	Molino de martillos	Recalentamiento de motor	1	60	60	Rendimiento
24/08/2018	Molino de martillos	Cambio de criba	2	40	80	Disponibilidad
25/08/2018	Molino de martillos	Parada por abastecimiento en el pozo de almacenamiento	2	90	180	Disponibilidad
27/08/2018	Molino de martillos	Producción defectuosa	1	120	120	Calidad
28/08/2018	Molino de martillos	Desgaste de martillos. Cambio de pieza	1	90	90	Disponibilidad
29/08/2018	Molino de martillos	Parada por cambio de proceso. Inactividad	2	60	120	Planificada
30/08/2018	Molino de martillos	Limpieza de Molino	1	60	60	Planificada
31/08/2018	Molino de martillos	Parada por control automático	1	5	5	Disponibilidad
03/09/2018	Molino de martillos	Materiales innecesarios en el molino	2	30	60	Rendimiento
04/09/2018	Molino de martillos	Parada por polución	2	30	60	Calidad
06/09/2018	Molino de martillos	Ajuste automático en el sistema de transmisión	1	10	10	Rendimiento
07/09/2018	Molino de martillos	Parada por falta de personal	1	60	60	Disponibilidad
10/09/2018	Molino de martillos	Recalentamiento de motor	1	60	60	Rendimiento
11/09/2018	Molino de martillos	Cambio de criba	2	40	80	Disponibilidad
12/09/2018	Molino de martillos	Parada por abastecimiento en el pozo de almacenamiento	2	90	180	Disponibilidad
13/09/2018	Molino de martillos	Producción defectuosa	1	120	120	Calidad
14/09/2018	Molino de martillos	Desgaste de martillos. Cambio de pieza	1	90	90	Disponibilidad
15/09/2018	Molino de martillos	Parada por cambio de proceso. Inactividad	2	60	120	Planificada
17/09/2018	Molino de martillos	Limpieza de Molino	1	60	60	Planificada
18/09/2018	Molino de martillos	Parada por control automático	1	5	5	Disponibilidad
20/09/2018	Molino de martillos	Materiales innecesarios en el molino	2	30	60	Rendimiento
25/09/2018	Molino de martillos	Parada por polución	2	30	60	Calidad
26/09/2018	Molino de martillos	Ajuste automático en el sistema de transmisión	1	10	10	Rendimiento
27/09/2018	Molino de martillos	Parada por falta de personal	1	60	60	Disponibilidad
29/09/2018	Molino de martillos	Recalentamiento de motor	1	60	60	Rendimiento
01/10/2018	Molino de martillos	Cambio de criba	2	40	80	Disponibilidad

02/10/2018	Molino de martillos	Parada por abastecimiento en el pozo de almacenamiento	2	90	180	Disponibilidad
03/10/2018	Molino de martillos	Producción defectuosa	1	120	120	Calidad
04/10/2018	Molino de martillos	Desgaste de martillos. Cambio de pieza	1	90	90	Disponibilidad
05/10/2018	Molino de martillos	Parada por cambio de proceso. Inactividad	2	60	120	Planificada
06/10/2018	Molino de martillos	Limpieza de Molino	1	60	60	Planificada
09/10/2018	Molino de martillos	Parada por control automático	1	5	5	Disponibilidad
10/10/2018	Molino de martillos	Mantenimiento al sistema de transmisión de potencia	1	45	45	Planificada
11/10/2018	Molino de martillos	Materiales innecesarios en el molino	2	30	60	Rendimiento
12/10/2018	Molino de martillos	Parada por polución	2	30	60	Calidad
13/10/2018	Molino de martillos	Ajuste automático en el sistema de transmisión	1	10	10	Rendimiento
15/10/2018	Molino de martillos	Parada por falta de personal	1	60	60	Disponibilidad
16/10/2018	Molino de martillos	Cambio de rodamientos	1	60	60	Planificada
17/10/2018	Molino de martillos	Recalentamiento de motor	1	60	60	Rendimiento
18/10/2018	Molino de martillos	Cambio de criba	2	40	80	Disponibilidad
19/10/2018	Molino de martillos	Parada por abastecimiento en el pozo de almacenamiento	2	90	180	Disponibilidad
20/10/2018	Molino de martillos	Producción defectuosa	1	120	120	Calidad
22/10/2018	Molino de martillos	Desgaste de martillos. Cambio de pieza	1	90	90	Disponibilidad
25/10/2018	Molino de martillos	Parada por cambio de proceso. Inactividad	2	60	120	Planificada
27/10/2018	Molino de martillos	Limpieza de Molino	1	60	60	Planificada
29/10/2018	Molino de martillos	Parada por control automático	1	5	5	Disponibilidad
30/10/2018	Molino de martillos	Mantenimiento Alimentador Sin Fin	1	30	30	Planificada
31/10/2018	Molino de martillos	Materiales innecesarios en el molino	2	30	60	Rendimiento
01/11/2018	Molino de martillos	Parada por polución	2	30	60	Calidad
02/11/2018	Molino de martillos	Ajuste automático en el sistema de transmisión	1	10	10	Rendimiento
03/11/2018	Molino de martillos	Parada por falta de personal	1	60	60	Disponibilidad
06/11/2018	Molino de martillos	Recalentamiento de motor	1	60	60	Rendimiento
07/11/2018	Molino de martillos	Cambio de criba	2	40	80	Disponibilidad

10/11/2018	Molino de martillos	Parada por abastecimiento en el pozo de almacenamiento	2	90	180	Disponibilidad
12/11/2018	Molino de martillos	Producción defectuosa	1	120	120	Calidad
13/11/2018	Molino de martillos	Desgaste de martillos. Cambio de pieza	1	90	90	Disponibilidad
14/11/2018	Molino de martillos	Parada por cambio de proceso. Inactividad	2	60	120	Planificada
15/11/2018	Molino de martillos	Limpieza de Molino	1	60	60	Planificada
16/11/2018	Molino de martillos	Parada por control automático	1	5	5	Disponibilidad
17/11/2018	Molino de martillos	Configuración de PLC	1	30	30	Disponibilidad
19/11/2018	Molino de martillos	Materiales innecesarios en el molino	2	30	60	Rendimiento
20/11/2018	Molino de martillos	Parada por polución	2	30	60	Calidad
21/11/2018	Molino de martillos	Ajuste automático en el sistema de transmisión	1	10	10	Rendimiento
22/11/2018	Molino de martillos	Parada por falta de personal	1	60	60	Disponibilidad
23/11/2018	Molino de martillos	Mantenimiento Alimentador Sin Fin	1	30	30	Planificada
26/11/2018	Molino de martillos	Recalentamiento de motor	1	60	60	Rendimiento
27/11/2018	Molino de martillos	Cambio de criba	2	40	80	Disponibilidad
28/11/2018	Molino de martillos	Parada por abastecimiento en el pozo de almacenamiento	2	90	180	Disponibilidad
29/11/2018	Molino de martillos	Producción defectuosa	1	120	120	Calidad
30/11/2018	Molino de martillos	Desgaste de martillos. Cambio de pieza	1	90	90	Disponibilidad
01/12/2018	Molino de martillos	Parada por cambio de proceso. Inactividad	2	60	120	Planificada
03/12/2018	Molino de martillos	Limpieza de Molino	1	60	60	Planificada
04/12/2018	Molino de martillos	Parada por control automático	1	5	5	Disponibilidad
06/12/2018	Molino de martillos	Materiales innecesarios en el molino	2	30	60	Rendimiento
07/12/2018	Molino de martillos	Parada por polución	2	30	60	Calidad
08/12/2018	Molino de martillos	Ajuste automático en el sistema de transmisión	1	10	10	Rendimiento
12/12/2018	Molino de martillos	Parada por falta de personal	1	60	60	Disponibilidad
14/12/2018	Molino de martillos	Cambio de rodamientos	1	60	60	Planificada
15/12/2018	Molino de martillos	Recalentamiento de motor	1	60	60	Rendimiento
17/12/2018	Molino de martillos	Cambio de criba	2	40	80	Disponibilidad

18/12/2018	Molino de martillos	Parada por abastecimiento en el pozo de almacenamiento	2	90	180	Disponibilidad
19/12/2018	Molino de martillos	Producción defectuosa	1	120	120	Calidad
20/12/2018	Molino de martillos	Desgaste de martillos. Cambio de pieza	1	90	90	Disponibilidad
21/12/2018	Molino de martillos	Parada por cambio de proceso. Inactividad	2	60	120	Planificada
22/12/2018	Molino de martillos	Limpieza de Molino	1	60	60	Planificada
24/12/2018	Molino de martillos	Parada por control automático	1	5	5	Disponibilidad
29/12/2018	Molino de martillos	Materiales innecesarios en el molino	2	30	60	Rendimiento
31/12/2018	Molino de martillos	Parada por polución	2	30	60	Calidad
02/01/2019	Molino de martillos	Ajuste automático en el sistema de transmisión	1	10	10	Rendimiento
03/01/2019	Molino de martillos	Parada por falta de personal	1	60	60	Disponibilidad
04/01/2019	Molino de martillos	Cambio de rodamientos	1	60	60	Planificada
05/01/2019	Molino de martillos	Recalentamiento de motor	1	60	60	Rendimiento
07/01/2019	Molino de martillos	Cambio de criba	2	40	80	Disponibilidad
08/01/2019	Molino de martillos	Parada por abastecimiento en el pozo de almacenamiento	2	90	180	Disponibilidad
09/01/2019	Molino de martillos	Producción defectuosa	1	120	120	Calidad
10/01/2019	Molino de martillos	Desgaste de martillos. Cambio de pieza	1	90	90	Disponibilidad
15/01/2019	Molino de martillos	Parada por cambio de proceso. Inactividad	2	60	120	Planificada
16/01/2019	Molino de martillos	Limpieza de Molino	1	60	60	Planificada
17/01/2019	Molino de martillos	Parada por control automático	1	5	5	Disponibilidad
19/01/2019	Molino de martillos	Materiales innecesarios en el molino	2	30	60	Rendimiento
21/01/2019	Molino de martillos	Parada por polución	2	30	60	Calidad
22/01/2019	Molino de martillos	Ajuste automático en el sistema de transmisión	1	10	10	Rendimiento
23/01/2019	Molino de martillos	Parada por falta de personal	1	60	60	Disponibilidad
24/01/2019	Molino de martillos	Parada por corte de energía	1	20	20	Disponibilidad
25/01/2019	Molino de martillos	Recalentamiento de motor	1	60	60	Rendimiento
26/01/2019	Molino de martillos	Cambio de criba	2	40	80	Disponibilidad
28/01/2019	Molino de martillos	Parada por abastecimiento en el pozo de almacenamiento	2	90	180	Disponibilidad

29/01/2019	Molino de martillos	Producción defectuosa	1	120	120	Calidad
30/01/2019	Molino de martillos	Desgaste de martillos. Cambio de pieza	1	90	90	Disponibilidad
31/01/2019	Molino de martillos	Parada por cambio de proceso. Inactividad	2	60	120	Planificada
01/02/2019	Molino de martillos	Limpieza de Molino	1	60	60	Planificada
02/02/2019	Molino de martillos	Parada por control automático	1	5	5	Disponibilidad
04/02/2019	Molino de martillos	Mantenimiento al sistema de transmisión de potencia	1	45	45	Planificada
05/02/2019	Molino de martillos	Materiales innecesarios en el molino	2	30	60	Rendimiento
06/02/2019	Molino de martillos	Parada por polución	2	30	60	Calidad
07/02/2019	Molino de martillos	Ajuste automático en el sistema de transmisión	1	10	10	Rendimiento
08/02/2019	Molino de martillos	Parada por falta de personal	1	60	60	Disponibilidad
09/02/2019	Molino de martillos	Mantenimiento Alimentador Sin Fin	1	30	30	Planificada
11/02/2019	Molino de martillos	Recalentamiento de motor	1	60	60	Rendimiento
14/02/2019	Molino de martillos	Cambio de criba	2	40	80	Disponibilidad
16/02/2019	Molino de martillos	Parada por abastecimiento en el pozo de almacenamiento	2	90	180	Disponibilidad
18/02/2019	Molino de martillos	Producción defectuosa	1	120	120	Calidad
19/02/2019	Molino de martillos	Desgaste de martillos. Cambio de pieza	1	90	90	Disponibilidad
20/02/2019	Molino de martillos	Parada por cambio de proceso. Inactividad	2	60	120	Planificada
21/02/2019	Molino de martillos	Limpieza de Molino	1	60	60	Planificada
22/02/2019	Molino de martillos	Parada por control automático	1	5	5	Disponibilidad
23/02/2019	Molino de martillos	Mantenimiento Alimentador Sin Fin	1	30	30	Planificada
25/02/2019	Molino de martillos	Materiales innecesarios en el molino	2	30	60	Rendimiento
26/02/2019	Molino de martillos	Parada por polución	2	30	60	Calidad
27/02/2019	Molino de martillos	Ajuste automático en el sistema de transmisión	1	10	10	Rendimiento
02/03/2019	Molino de martillos	Parada por falta de personal	1	60	60	Disponibilidad
04/03/2019	Molino de martillos	Cambio de rodamientos	1	60	60	Planificada
05/03/2019	Molino de martillos	Recalentamiento de motor	1	60	60	Rendimiento
06/03/2019	Molino de martillos	Cambio de criba	2	40	80	Disponibilidad

07/03/2019	Molino de martillos	Parada por abastecimiento en el pozo de almacenamiento	2	90	180	Disponibilidad
08/03/2019	Molino de martillos	Producción defectuosa	1	120	120	Calidad
09/03/2019	Molino de martillos	Desgaste de martillos. Cambio de pieza	1	90	90	Disponibilidad
11/03/2019	Molino de martillos	Parada por cambio de proceso. Inactividad	2	60	120	Planificada
12/03/2019	Molino de martillos	Limpieza de Molino	1	60	60	Planificada
13/03/2019	Molino de martillos	Parada por control automático	1	5	5	Disponibilidad
14/03/2019	Molino de martillos	Configuración de PLC	1	30	30	Rendimiento
15/03/2019	Molino de martillos	Materiales innecesarios en el molino	2	30	60	Rendimiento
18/03/2019	Molino de martillos	Parada por polución	2	30	60	Calidad
20/03/2019	Molino de martillos	Ajuste automático en el sistema de transmisión	1	10	10	Rendimiento
21/03/2019	Molino de martillos	Parada por falta de personal	1	60	60	Disponibilidad
23/03/2019	Molino de martillos	Recalentamiento de motor	1	60	60	Rendimiento
25/03/2019	Molino de martillos	Cambio de criba	2	40	80	Disponibilidad
26/03/2019	Molino de martillos	Parada por abastecimiento en el pozo de almacenamiento	2	90	180	Disponibilidad
27/03/2019	Molino de martillos	Producción defectuosa	1	120	120	Calidad
28/03/2019	Molino de martillos	Desgaste de martillos. Cambio de pieza	1	90	90	Disponibilidad
29/03/2019	Molino de martillos	Parada por cambio de proceso. Inactividad	2	60	120	Planificada
30/03/2019	Molino de martillos	Limpieza de Molino	1	60	60	Planificada
03/04/2019	Molino de martillos	Parada por control automático	1	5	5	Disponibilidad
06/04/2019	Molino de martillos	Materiales innecesarios en el molino	2	30	60	Rendimiento
08/04/2019	Molino de martillos	Parada por polución	2	30	60	Calidad
09/04/2019	Molino de martillos	Ajuste automático en el sistema de transmisión	1	10	10	Rendimiento
10/04/2019	Molino de martillos	Parada por falta de personal	1	60	60	Disponibilidad
11/04/2019	Molino de martillos	Cambio de rodamientos	1	60	60	Planificada
12/04/2019	Molino de martillos	Recalentamiento de motor	1	60	60	Rendimiento
13/04/2019	Molino de martillos	Cambio de criba	2	40	80	Disponibilidad
15/04/2019	Molino de martillos	Parada por abastecimiento en el pozo de almacenamiento	2	90	180	Disponibilidad

16/04/2019	Molino de martillos	Producción defectuosa	1	120	120	Calidad
19/04/2019	Molino de martillos	Desgaste de martillos. Cambio de pieza	1	90	90	Disponibilidad
20/04/2019	Molino de martillos	Parada por cambio de proceso. Inactividad	2	60	120	Planificada
22/04/2019	Molino de martillos	Limpieza de Molino	1	60	60	Planificada
23/04/2019	Molino de martillos	Parada por control automático	1	5	5	Disponibilidad
24/04/2019	Molino de martillos	Mantenimiento al sistema de transmisión de potencia	1	45	45	Planificada
25/04/2019	Molino de martillos	Materiales innecesarios en el molino	2	30	60	Rendimiento
26/04/2019	Molino de martillos	Parada por polución	2	30	60	Calidad
27/04/2019	Molino de martillos	Ajuste automático en el sistema de transmisión	1	10	10	Rendimiento
29/04/2019	Molino de martillos	Parada por falta de personal	1	60	60	Disponibilidad
30/04/2019	Molino de martillos	Parada por corte de energía	1	30	30	Disponibilidad
249					17860	

Fuente: Molino´s San Antonio de Padua S.A.C

Anexo 12

Catálogo de motores ABB

Motores Super-E® ECP/XEX de eficiencia NEMA Premium® para ambientes severos

Motor Super-E® E CP/XEX TEFC – Totalmente cerrado, enfriado por ventilador montado en pie; 460 voltios; trifásico

Hp	Kw	RPM	Carcasa	Número de Catalogo	In Amp. ① 460Vac	Eficiencia %	F.S.	Símb.	Precio de lista USD
10	7.5	3600	215T	ECP3771T-4	11.1	91	115	SD	2284.00
	7.5	1800	1215T	ECP3774T-4	12.3	91.7	115	SD	2154.00
	7.5	1200	256T	ECP2332T-4	12.5	91	115	SD	3713.00
15	11.2	3600	254T	ECP2394T-4	16.8	91.7	115	SD	2922.00
	11.2	1800	254T	ECP2333T-4	18.1	92.4	115	SD	2745.00
	11.2	1200	284T	ECP4100T-4	18.7	92.4	115	SD	4257.00
20	14.9	3600	256T	ECP4106T-4	22.3	91.7	115	SD	3408.00
	14.9	1800	256T	ECP2334T-4	24	93	115	SD	2944.00
	14.9	1200	286T	ECP4102T-4	24.8	92.4	115	SD	5784.00
25	18.6	3600	284TS	ECP4107T-4	28.1	93	115	SD	4096.00
	18.6	1800	284T	ECP4103T-4	29.7	93.6	115	SD	3852.00
	18.6	1200	324T	ECP4111T-4	30.9	93	115	SD	6044.00
30	22.4	3600	286TS	ECP4108T-4	33.9	93	115	SD	4993.00
	22.4	1800	286T	ECP4104T-4	36.1	93.6	115	SD	4574.00
	22.4	1200	326T	ECP4117T-4	36.4	93.6	115	SD	7791.00
40	29.8	3600	324TS	ECP4109T-4	44.3	94.1	115	SD	6859.00
	29.8	1800	324T	ECP4110T-4	47.7	94.1	115	SD	5984.00
	29.8	1200	364T	ECP4308T-4	49	94.1	115	SD	9710.00
50	37.3	3600	326TS	ECP4114T-4	55.5	94.1	115	SD	7188.00
	37.3	1800	326T	ECP4115T-4	58.4	94.5	115	SD	7024.00
	37.3	1200	365T	ECP4312T-4	61	94.1	115	SD	10343.00
60	44.7	3600	364TS	ECP4310T-4	65.1	95	115	SD	10431.00
	44.7	1800	364T	ECP4314T-4	68	95	115	SD	9414.00
	44.7	1200	404T	ECP4403T-4	69	95	115	SD	75034.00
75	55.9	3600	365TS	ECP4313T-4	80.7	95	115	SD	11661.00
	55.9	1800	365T	ECP4316T-4	85.9	95.4	115	SD	11000.00
	55.9	1200	405T	ECP4404T-4	86.9	95	115	SD	17194.00

Nota: Notas: ① Amperios a 460V- Multiplicar por 2 para 230V.
Los planos se pueden descargar de nuestra página www.baldor.com



Fuente: (ABB, 2017, pág. 44)